

Dr. Óvári Gyula – Dr. Szegedi Péter

Alternatív üzemanyagok alkalmazásának lehetőségei a repülésben

Az egymást követő energiaválságok, a fokozódó környezetszennyezés következtében is fenyegető klímaváltozás és a fenntartható (fenntartani kíván)t gazdasági fejlődés energetikai biztosítása elodázhatalanná teszi olyan új energia hordozók felfedezését, amelyek hosszú távon kitermelhetőek, előállíthatóak, rövid határidővel gazdaságosan bevezethetőek, elterjeszthetőek, nem terhelik a környezetet és lehetőség szerint – lényeges átalakítás nélkül – alkalmasak a jelenleg alkalmazott erőgépeink, hajtóműveink működtetésére is. A fejlesztés folyamatának egyik nagy tanúsága és utólag megfogalmazott alapkövetelménye, hogy kevés az, ha az új energiahordozó felhasználása során környezetbarát, kitermelésének, előállításának is annak kell lennie.

1. BEVEZETÉS

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, melyek közül egy-egy, széles körben alkalmazott fajta jellemzői az 1. táblázatból kiolvashatóak. (A Wankel-, illetve a Diesel-motor és a gázolaj, eddig nem hozott átütő sikert.) A bemutatottakon kívül még jó néhány további változat létezik, amik némileg fizikai jellemzőikben és adalékanyagaikban térnek el egymástól.

1. táblázat

Minőségi követelmény	Repülőbenzin 100/130	Kerozin JET A (TSZ-1)
Oktánszám	100	-
Teljesítményszám	130	-
Fűtőérték [kJ/kg]	43540	42914
Lepárlási hőmérséklet [°C]	75-170	165-250
Fagyáspont [°C]	-60	-60
Lobbanáspont [°C]	~7	28

2. táblázat

Tüzelőanyagok megnevezése					
NATO	F-34	F-35	F-40	F-44	F-45
USA	MIL-T-83133 (JP-8)	ASTM JET A-1	ASTM JET B	MIL-T-5624G (JP-5)	MIL-T-5624D (JP-4)
ANGLIA	D. Eng. R. D. 2453	D. Eng. R. D. 2494	D. Eng. R. D. 2486	D. Eng. R. D. 2498	D. Eng. R. D. 2486
FRANCIAORSZÁG	AIR3405	AIR3405	AIR3407	AIR3404	AIR3407
KANADA	3-GP-23	3-GP-23	3-GP-22	3-GP-24	3-GP-23
OROSZORSZÁG		T-1, TSZ-1	RTt	T-7	
Alapvető jellemzőik					
Sűrűség (15,56 °C-on) [g/cm ³]					
▪ közepes	0,806	0,806	0,764	0,816	0,776
▪ maximális	0,825	0,825	0,802	0,845	0,802
Kinematikai viszkozitás (-34,4 °C-on) [cSt]	15	15	3	16	2,5
Fagyáspont [°C]	-50	-54	-60	-56	-60
Égéshő [kJ/kg]	42738	42738	42738	42612	42738

A légi járművek elvárt repülésbiztonsági mutatókkal történő hazai és nemzetközi üzemeltetése szükségessé teszi a tüzelőanyagok, előállításának, tárolásának, kezelésének, szállításának, őrzésének szigorú, lehetőleg nemzetközileg egységes szabványosítását. Így, a széles körben használatos repülő tüzelőanyagok - bár nemzeti szabványnak megfelelő megnevezéssel bírhatnak - besorolásuk a nemzetközi előírásoknak megfelelően egységes, így egymással ekvivalensek. A leggyakoribb kerozinok összehasonlítható megnevezése és fontosabb fizikai tulajdonságaik a 2. táblázat segítségével vethetők össze.

Természetesen a hazánkban alkalmazott repülőgépeken alkalmazható hajtó- és kenőanyagok minőségi jellemzőire, beszerzésére, tárolására, felügyeletére, kezelésére vonatkozó szabványok is szorosan tükrözik az EU-ra és/vagy NATO-ra érvényes előírásokat.

A jelenleg Magyarországon, illetve a Magyar Honvédségnél alkalmazott repülőgépekhez használatos benzinek és kerozinok specifikációit, előírásos ellenőrzési és tárolási idő normáit a 3. táblázat foglalja össze.

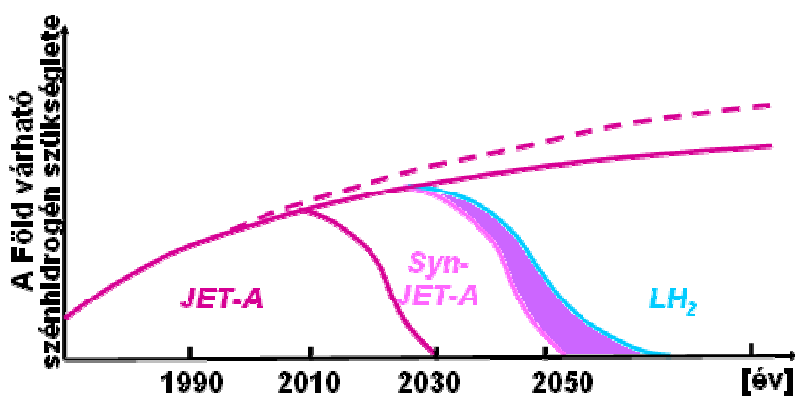
3. táblázat

Üzemanyag fajták	Nyt-i egység	Specifikáció (Szabvány szám)	Ellenőrző vizsgálat (hó)	Teljes vizsgálat (hó)	Tárolási idő (év)
I. Repülőbenzinek					
- B-70	kg	TU 38-101913-82	6	12	4
- RB-80	kg	MSZ 10869-95	6	12	4
- SzB-78	kg	TU 4-60-79	6	12	4
- RB-100 (RB-100LL)	kg	MSZ 10869-95	6	12	4
- B-91/115	kg	GOSZT 1012-72	6	12	4
- Avgas-100LL	kg	DERD-2485	6	12	3
II. Repülőkerozinok					
- JET-A1	kg	MSZ 10870	6	12	5
- RJ-FG	kg	MH	6	12	3
- RT-FG	kg	MH	6	12	3

2. A KŐOLAJALAPÚ TŰZELŐANYAGOK KITERMELÉSI, ALKALMAZÁSI PERSPEKTÍVÁI

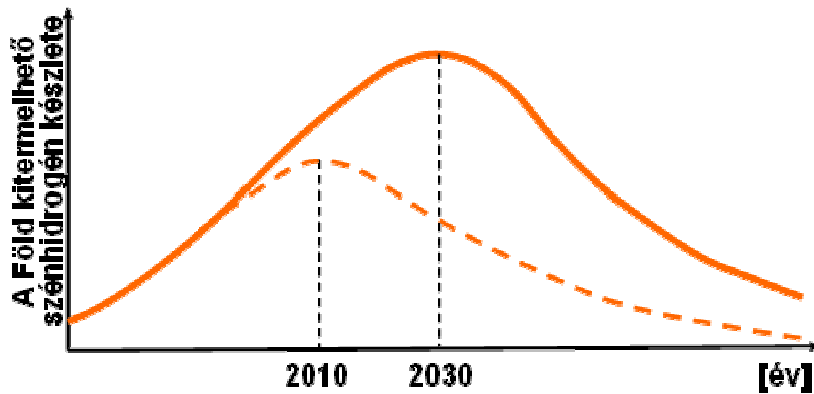
2.1. A kitermelhetőség lehetőségei, korlátai

A '70-es évek első energia-árrobbanását követő sokk utáni első higgadt és tudományosan



1. ábra

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 (és lehet nap-



2. ábra

jainkban) is kimunkálni a várható igények növekedési üteméről és a kitermelhető mennyiség szükségszerű csökkenésének időpontjáról (az 1.-2. ábrákon szaggatott vonal a pesszimista, folyamatos az optimista változatot jelöli), a trendek sajnálatosan azonban egyáltalán nem vitathatóak.

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 elvárásá 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, wingle, pontosan meghatározott aerodinamikai formák és csatlakozások stb./ alkalmazása), (ld. 4. táblázat, viszonyított típus a 2. generációs TU-154 M!)

4. táblázat

Jellemző	Típus					
	TU-154M	TU-204	MD-87	B737-300	A-320	Fokker-100
Utassférőhely	143	188	125	137	152	102
Hatótávolság (km) max. utaslétszámmal	3700	3500	3700	3420	3240	1800
Átlagfogyasztás; (kg / óra)	5400	3600	2728	2250	1960	1860
Egy utasra jutó üza fogyasztás [kg/óra/ utas]	37,7	19,14	21,2	16,42	12,89	18,23

A hadseregnél is markáns programok hivatottak elősegíteni a tüzelőanyag megtakarítást. Például az '50-es évek első felében, rendszerbe állított, 2030÷2035-ig hadrendben tartani kívánt B-52-es bombázó repülőgép 'H' változatának bevezetése, csak az új hajtóművek és digitalizált vezérlésük (FADEC) beépítésének következtében úgy növelte a hatótávolságukat 50 %-kal, hogy közben 25 %-kal csökkentek az üzemeltetés közvetlen költségei. Járulékosan pedig 55 darabra volt csökkenthető a feladatuk ellátáshoz szükséges KC-135R légi utántöltő repülőgéppark állománya, ami önmagában ~6 milliárd USD megtakarítást eredményez a tervezett kivonásukig hátralévő 25 évben.

Hasonlóan, a naptári üzemidő 2040-ig történő kitolásával, 40 milliárd USD kiadás csökkenést ígér a szállító repülőgép állomány másik fontos típusának, a C-5A Galaxy-nek a teljes avionika, és az elavult TF39-GE-1C hajtóművek ($F_{p,max}=191,2$ kN) korszerű, kisebb fogyasztású, gazdaságosabb üzemű, nagyobb tolóerejűre történő cseréje (CF6-80C2, $F_{p,max}=222,4$ kN).

Mindezek önmagukban is szükségessé tették a fenntartható és fenntartani kívánt gazdasági, műszaki fejlődés, a honvédelem elvárt harckészültségi szintjének biztosítására, a hagyományos kőolajalapú repülőgép tüzelőanyagok fokozatos kiváltását más megbízható, hosszú távon is folyamatos utánpótlást biztosító üzemanyaggal. Meghatározó szempont a folyamatosság, hiszen a Földünkön rendelkezésre álló, változatos korú légijármű parkjának

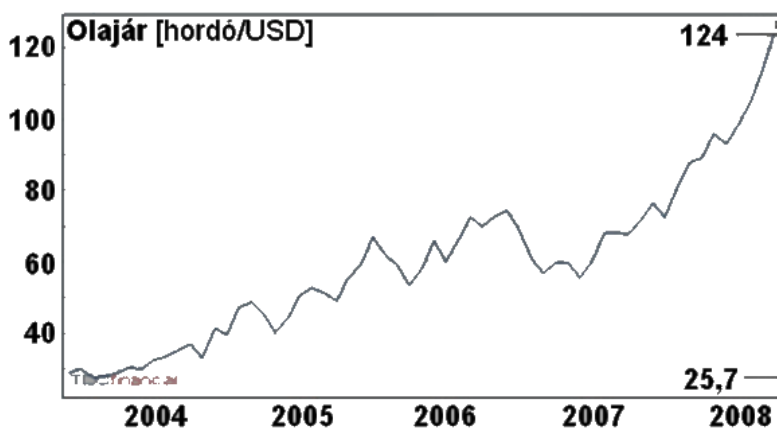
legújabb, legkorszerűbb - és ezáltal legdrágább - példányai csak most kezdik 30-50 év időtartamra tervezett szolgálatukat. Ezért számukra (is) elengedhetetlen megtalálni az üzemeltetés gazdaságos módját (ld. 1. ábra, szintetikus és/vagy a jelenlegi sárkány-hajtómű konfigurációhoz is alkalmazható alternatív üzemanyagok!) tervezett üzemidejük végéig.

2.2. Az üzemanyagok árképzési nehézségei

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 közel-keleti 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 igényei nyomán kibővült a kereslet. Mindezek együttesen, 1-2 év alatt 100÷400 %-os üzemanyagár ingadozást eredményezhetnek (3. ábra).



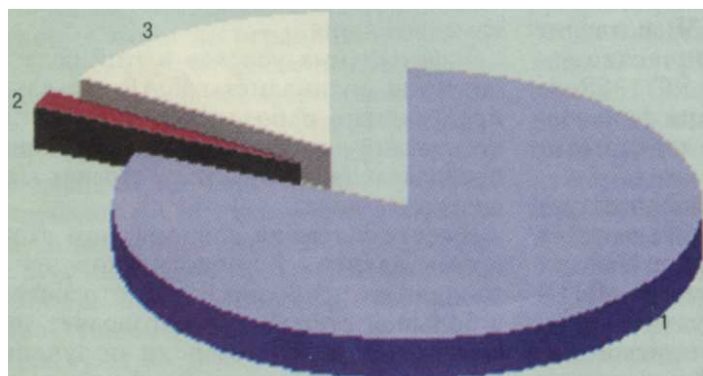
Ugyancsak a fenti okokra vezethető vissza az is, hogy az üzemanyagok termikus krakkolással történő előállítása kiinduló anyagaként szolgáló nyersolaj magasabb szinten (drágábban) előállított származékainak (pl. benzin) beszerzési árát időlegesen meghaladhatja az alacsonyabb szinten feldolgozott (pl.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

3. ábra

2.3. Az USA katonai szükségleteinek hatása a repülőgépezemanyag-árakra

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 (4. ábra) – 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:

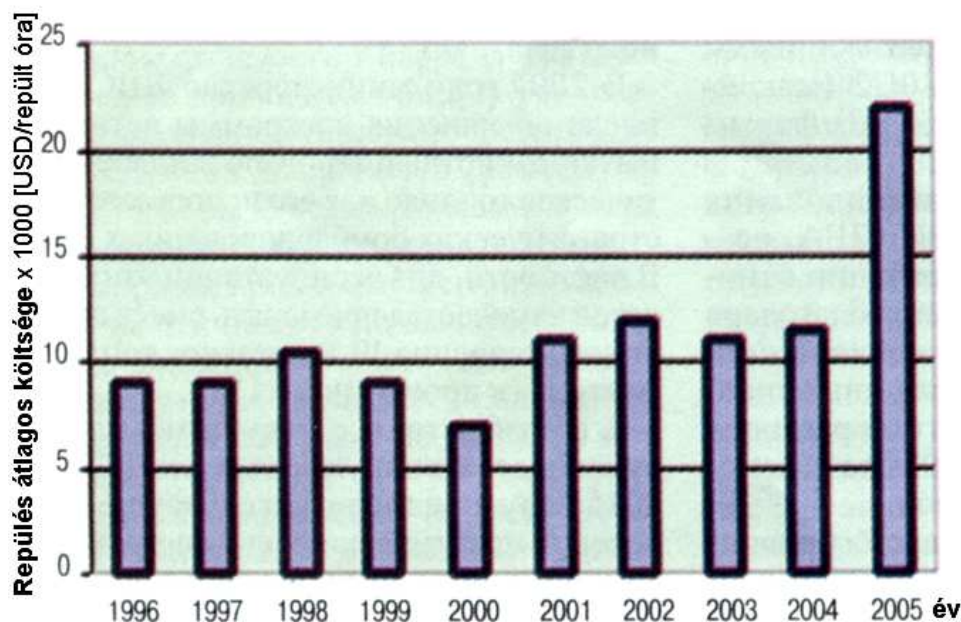


- 2004-ben 6,7 millió USD;
- 2005-ben 8,8 millió USD;
- 2006-ban 11,2 millió USD.

1 – légi járművek (82 %); 2 – földi kiszolgáló eszközök (2 %); 3 – infrastrukturális eszközök (16 %);

4. ábra

Mindezek ebben az időszakban, egy repült óra átlagos költségeit – az éppen aktuális katonai, politikai helyzet befolyásolta, némileg hullámzó jelleggel, de – egyértelműen a növekedés irányába módosították (5. ábra).



5. ábra

2.4. Környezetkárosító hatások

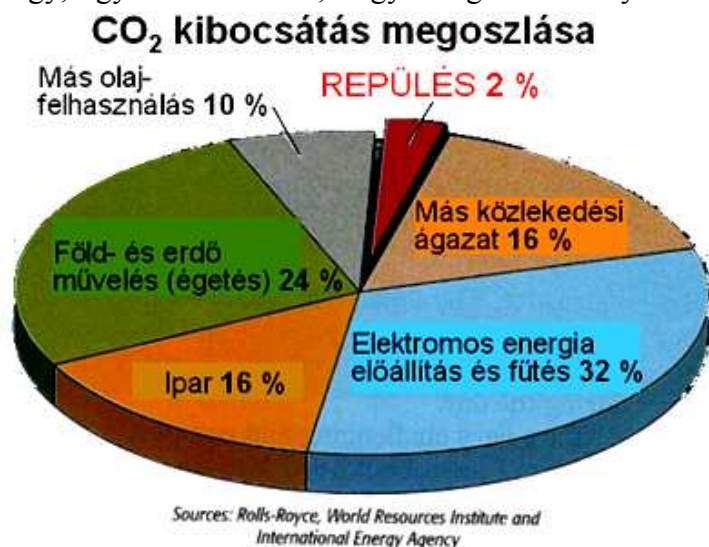
A XX. század második felére - a vonatkozó kutatások eredményeként is - ugrásszerűen megerősödött és megkerülhetetlenné vált a környezettudatos szemléletmód. A várakozásokkal ellentétben 2006-ról 2007-re globálisan három százalékkal emelkedett a fölmelegedést okozó széndioxid-kibocsátás. Az emberiség 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). 2000 és 2005 között a kibocsátás összesen 3,2%-kal emelkedett, míg az előző évtizedben (1990-től 1999-ig) 0,8%-kal. Az emelkedést javarészen fejlődő országok produkálták, elsősorban Kína, amely megközelítőleg a globális emelkedés feléért felelős. (Az 1,3 milliárd lakosú ázsiai ország 2 milliárd tonna szén-szennyezést produkált 2007-ben, ami 7,5 százalékkal több az előző évinél. Kína 2006-ban "előzte meg" a korábban a szennyezők

első helyét elfoglaló Egyesült Államokat, amely 2007-ben ismét a második legnagyobb kibocsátó lett 1,75 milliárd tonnával. Az USA 2007-ben a korábbi évnél közel 2 százalékkal nagyobb mértékben járult hozzá a globális légszennyezéshez, miután 2006-ban sikerült csökkentenie kibocsátását. A harmadik helyen India áll, majd Oroszország következik.)

Megjegyzés:

A kibocsátás fő forrásai továbbra is az ipar és a közlekedés, de becslések szerint a közel 10 milliárd tonnányi éves szénkibocsátás 25%-a változó földhasználatból ered (6. ábra), ami főleg a trópusi erdők égetéses kiirtását jelenti. Ráadásul az erdők és óceánok is mind kevesebb szén-dioxid megkötésére képesek, így ha az emelkedés a jelenlegi ütemben folytatódik, a jövőben a kutatók által felvázolt legszélsőségesebb hőmérsékletemelkedéssel kell szembenéznünk. Az IPCC két éve, az elmúlt évben mért adatoknál jóval enyhébb kibocsátás-növekedéssel számolva 2,4÷6,3 °C-os átlagos globális hőmérsékletemelkedést vázolt a század végére. Az IPCC hosszú távú tendenciákat vázol föl, amelyekhez a gazdaságkutatók előrejelzéseit veszi alapul, a 2007-es év esetén ezek a gazdasági várakozások bizonyultak tévesnek. Akárhol is hibáztak a szakemberek, ez mit sem változtat a tényeken, amelyek azt mutatják, hogy sajnos mindinkább a szélsőséges forgatókönyvek igazolódnak be. Ha a széndioxid-kibocsátás ilyen ütemben folytatódik, akkor hosszú távon, a század végére akár 7-8 fokos globális átlaghőmérséklet-növekedés is bekövetkezhet. Hazánk, földrajzi elhelyezkedése miatt az egyik legveszélyeztetettebb ország Európában, ezért Magyarországot a globális melegedés a 1,5-2-szerese sújthatja.

Így, egyértelművé vált, hogy a légköri szennyezés 2 %-áért felelős repülés (6. ábra) –



mely prognózisok szerint, évi 5 %-os légiforgalmi növekedést feltételezve, ~2025-re már elérheti a 3 %-ot – csak olyan korszerűsítésekben, alternatív és/vagy átmeneti tüzelőanyagok alkalmazásában gondolkodhat, 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.

6. ábra

3. ALTERNATÍV ENERGIAHORDOZÓK

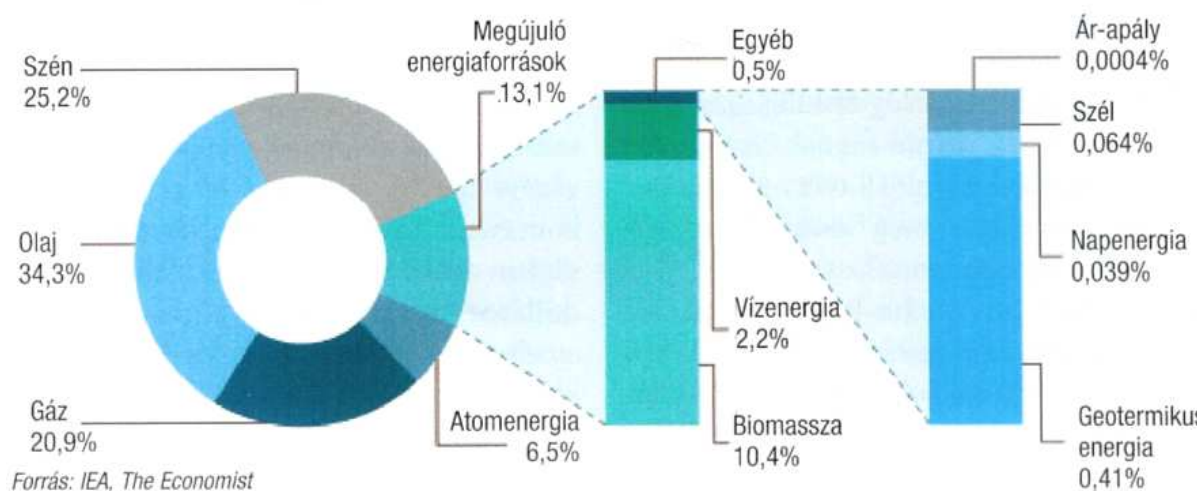
3.1. Alternatív energiaforrások kiválasztásának szempontjai

Az 1., 2. és 7. ábrákon bemutatottakból 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;

- kémiailag, halmazállapotát tekintve stabil, nem lép reakcióba a fedélzeti tüzelőanyagrendszer elemeivel, berendezéseivel;
- hosszú időre, megbízható, könnyen kitermelhető és olcsón feldolgozható tartalékok álljanak belőle rendelkezésre;
- kitermelése, 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 (7. ábra).



7. 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.

3.2. Biomassza és szintetikus tüzelőanyagok

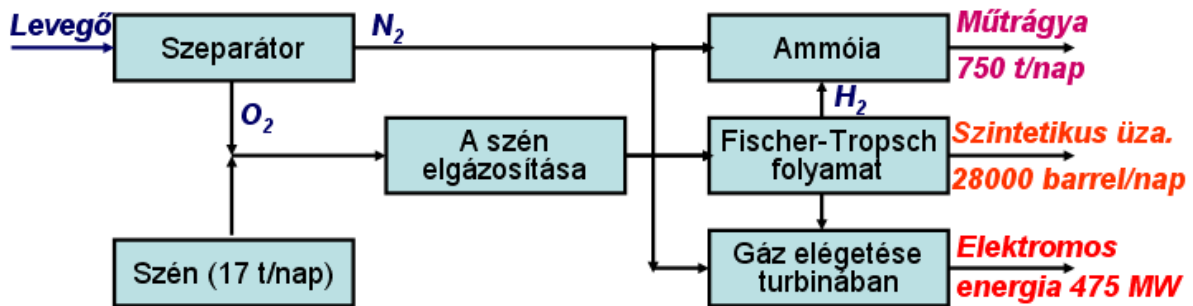
A jelenlegi üzemanyagok kiegészítésére, helyettesítésére – kezdetben legnagyobb ígéretnek tartott - biomasszák alkalmazása kétséges, mivel nagytömegű, hosszú távú termelhetőségük korlátozott és ellentmondásos. Abban szakemberek többsége egyetért, hogy 2030-ig a biomasszából termelt, megújuló energia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

Megjegyzés:

A biomasszával az az alapvető gond, hogy a növényi fotoszintézis csak ~1 %-os hatékonysággal alakítja át a napenergiát kémiai energiává, ezért az alapanyagul szolgáló növényi kultúra termesztése hamar eléri terjeszkedésének korlátait. Az első generációs bioüzemanyagok kizárólag élelmiszer-növényekből (kukorica, búza, repce, répa, cukornád stb.) készültek. A fejlett országok azzal támogatják előállításukat, hogy többet fizetnek értük, mint amennyit ténylegesen érnek. Így viszont az élelmiszer-termények is drágulnak, akkor is, ha nincs energetikai hasznosításuk, mivel már a termőföld felhasználásáért folyik a harc. A Minnesotai Egyetem kutatásai kimutatták: egy nagy amerikai személygépkocsi 80 liter etanollal való feltöltéséhez megközelítőleg 220 kg kukoricára feldolgozás szükséges. Ez annyi kalóriát tartalmaz, amennyi egy embernek egy évre elég. Mindez az USA-ban az alapélelmiszerek árának 1 százalékos növelését eredményezi.

Ígéretesebbek a második generációs bioüzemanyagok, amelyeket faanyagból (például faforgácsból, fűrészporból) vagy szalmából nyernének. A lignin, a hemicellulóz és a cellulóz - mint nagyon ellenálló növényi molekulák - jelenléte, azonban számottevő problémákat okoz. E hosszú szénláncokat elemi cukrokra kell(ene) lebontani, amihez kevésbé energiaigényes módszerekre lenne szükség, pl. újfajta enzimek kifejlesztésére, ám ezek az eljárások még nem elérhetőek. Prognózisok szerint, a második generációs üzemanyagok jelenléte csak 2015-20 között válhat számottevővé, 2030-ig az emberiség legfeljebb 95 Mtoe-t nyerhet évente a biomasszából, illetve a bioüzemanyagból összesen.

A jelenleg alkalmazott légi járművek benzin-, kerozin-felhasználása csökkentésének, időleges, de akár teljes kiváltásának egy lehetséges módszere lehet, az iparilag előállított szintetikus üzemanyagok alkalmazása (8. ábra).



8. ábra

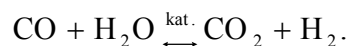
A módszer nem új, de az előállítási folyamat tetemes hagyományos energia igényének – ezáltal környezetszennyezésének – csökkentése még mindig jelentős kihívás.

Megjegyzés:

A FISCHER-TROPSCH-féle szintézis során a benzinszerű motorhajtóanyagokat nem ásványolajból, hanem szénből kiindulva állítanak elő. Kiindulási anyaga vízgáz, amelyet izzó szénen vízgőzt átfűvátva nyernek. Ekkor



szén-monoxidból és hidrogénből álló gázkeverék keletkezik. Elméletileg ez a vízgáz 50 térfogat % szén-monoxidból és 50 térfogat % hidrogénből áll. A gázelegy hidrogéntartalma növelhető, ha a vízgázt 400-500 °C-on túlhevített vízgőzzel elegyítve KOH-tartalmú Fe₂O₃-katalizátoron vezetik át. Ekkor a vízgázban levő szén-monoxid a vízgőzzel a következő egyenlet szerint reagál:

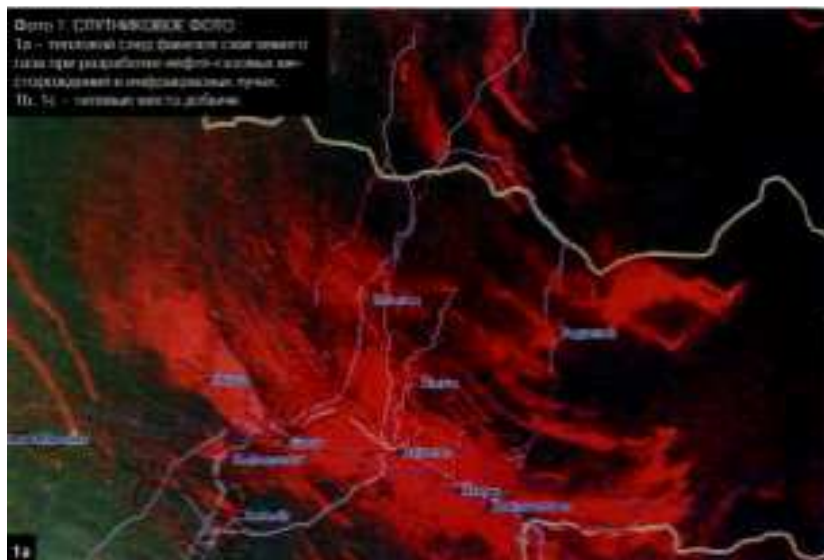


A kapott gázelegyből a szén-dioxidot vízzel nyomás alatt kimossák, és az így nyert hidrogént vízgázzal a kívánt arányban elegyítik. A megfelelő arányú CO : H₂ gázelegyet 10

bar nyomáson, 180 °C-on olyan katalizátoron vezetik át, amely nikkelt, kobaltot, vasat és nyomokban rezet, mangánt valamint tóriumot is tartalmaz. Így különböző szénhidrogének keveréke keletkezik, amely a paraffin-szénhidrogének mellett telítetlen szénhidrogéneket is tartalmaz. Kedvező, hogy a folyamatból a szintetikus üzemanyag mellett számottevő elektromos energia és mezőgazdaságilag hasznosítható műtrágya is kinyerhető.

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

Hosszútávú utánpótlás, kitermelhetőség legnagyobb valószínűséggel a vízből biztosítható,



9. ábra

(Ennek mértékébe nyújt betekintést a 9. ábrán látható, egy nagyterjedésű orosz szénhidrogén lelőhelyről, az infra-kisugárzás tartományában készített műholdas felvétel.)

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, kémiai is hasonlóak), közülük az első 5-7 gáznemű, illetve folyékony. Utóbbiakat napjainkig előírások és kimunkált technológia hiányában rendszerint a feltárás helyszínén elégetik.

Megjegyzés:

1. A földgáz a természetben üledékes kőzetek pórusaiban, repedéseiben cseppfolyós szénhidrogénnel, kőolajjal, vagy anélkül előforduló gáz. Összetétele lelőhelyenként igen különböző lehet. Metánon és a paraffin-szénhidrogén sor kisebb molekulásúlyú vegyületein kívül nitrogént, széndioxidot és kénhidrogént is tartalmazhat, néhány amerikai lelőhelyen hélium tartalmát is találtak. A domináló és ezért többnyire értékesíthető komponensek szerint megkülönböztetnek szénhidrogén-, természetes széndioxid- és nitrogén-földgázt. A túlnyomóan szénhidrogéngázból állóak a legértékesebbek és szűkebb értelemben a földgázon is az ilyen gázt értnek.
2. A feldolgozás szempontjából megkülönböztethető még száraz és nedves földgáz. Az előbbi metánon kívül (90÷99 %) alig tartalmaz olyan szénhidrogéneket (etán, propán, 1÷9 %), amelyek közönséges hőmérsékleten nyomással könnyen cseppfolyósíthatóak. A nedves gáz metánon kívül etánt, propánt, butánt, pentánt és még nagyobb molekulásúlyú szénhidrogéneket is tartalmazhat. A nedves gázt aktív szenes adszorpcióval, nyomás alatt végzett olajos abszorpcióval, vagy komprimálással és hűtéssel száraz gázra és nyers gazolinra választják szét. Utóbbiból nyomás alatti desztillációval (stabilizálással) állítják elő a háztartási palackozott propán-butánt és a stabilizált gazolint. A gazolin a legkönnyebb benzinféleség, melynek kezdő forráspontja igen alacsony (~35 °C) és legnagyobb része (75÷80 %) 100 °C alatt forró párlatokból áll.
3. Amennyiben a szénhidrogénekben egy hidrogént egy hidroxilgyökkel helyettesítenek, egyenértékű alkohol keletkezik. A paraffin szénhidrogénekből képződő egyenértékű

alkoholok (általános képletük $C_nH_{2n+1}OH$) sorának első elemei, az etanol és metanol belsőégésű erőgépek önálló, vagy kiegészítő üzemanyagaként is számításba vehetőek.

4. A kisebb szénatomszámú paraffinok közönséges hőmérsékleten gázok. A pentántól kezdve folyadékok, a heptadekántól pedig már szilárd, szintelen kristályos anyagok. Olvadás- és forráspontjuk a a szénatomszámmal szabályosan, de egyre csökkenő mértékben nő. /Műszaki Lexikon, AKADÉMIAI KIADÓ 1974, I. kötet 924 p. alapján/

A repülőgépek (járművek) működtetésére a 6. táblázatban felsorolt gázokat, a tárolás gazdaságossága, a hajtóműbe történő adagolás pontossága miatt cseppfolyósított (kriogén) állapotban célszerű alkalmazni.

6. táblázat

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

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.

3.3.1. Hidrogén (H₂)

Az egységnyi tömegéből nyerhető égéshője 2,7-szerese a kerozinénak, de beláthatóan a többi, 6. táblázatban és 10. ábrán bemutatottét is lényegesen meghaladja. Igen kedvező az égési karakterisztikája is, a láng terjedési sebességét és hőmérséklet megoszlását illetően, valamint egyetlen gáz a felsoroltak közül melynek égéstermékeiből hiányoznak a szén-gázok (7. táblázat).

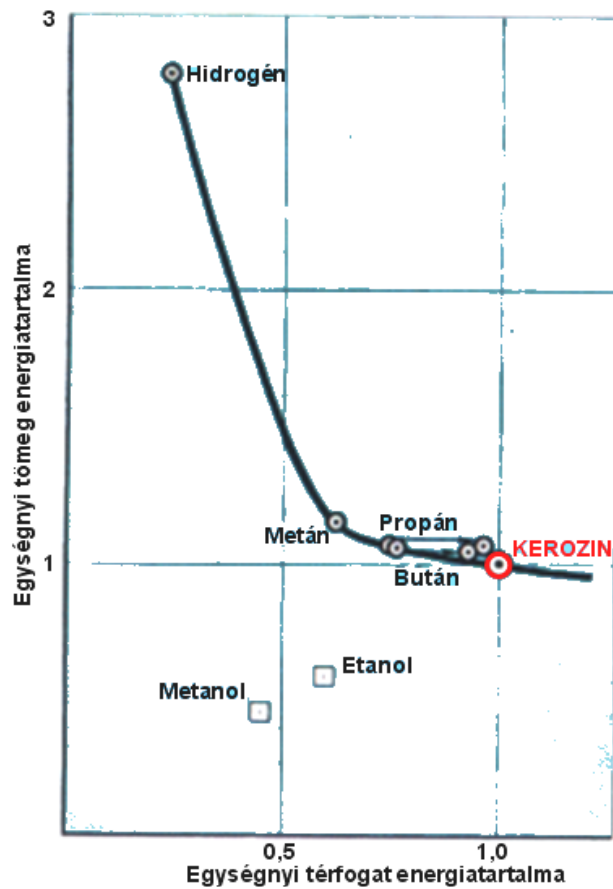
7. táblázat

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

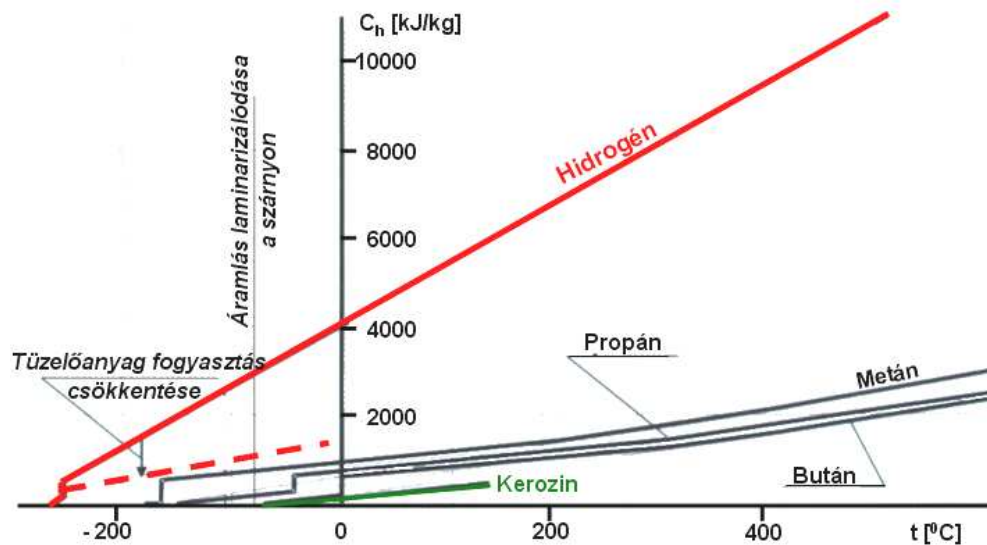
1 kg kerozin elégetésekor 3,16 kg CO₂ (széndioxid) és 1,25 kg H₂O (víz) keletkezik. 1 kg hidrogén elégetésekor 9 kg H₂O jön létre. 0,36 kg hidrogén 1 kg kerozinnak megfelelő energia-tartalommal rendelkezik, ennyi hidrogén elégetése 3,21 kg vizet eredményez.

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 $1/11 \div 1/12$ -e a kerozinénak, így egységnyi, kerozinével megegyező energia tárolására $\sim 3,7$ -szeres tartálytérfogat szükséges, melyet számottevően tovább emel a cseppfolyós halmazállapothoz tartozó, rendkívül alacsony hőmérséklet ($t < 250 \text{ } ^\circ\text{C}$) fenntartásához szükséges aktív és passzív hőszigetelő rétegek beépítése. (Ld. még 3.5.1. fejezet!) Valamennyi vizsgált gáz közül az LH_2 - szerkezeti hűtésre, a hordfelületek körüláramlásának javítására, stb. használható - hűtőképessége (C_h) a legnagyobb (11. ábra).



10. ábra



11. ábra

Jelenleg még megoldatlan a cseppfolyós halmazállapota fenntartásához szükséges, alacsony hőmérséklet határokhoz tartozó $(-253) \div (-262) \text{ } ^\circ\text{C}$, rendkívül szűk, $\Delta t = 9 \text{ } ^\circ\text{C}$ -s tartományban, a megbízható és gazdaságos tárolásának lehetősége is.

Vélelmezhetően a LH_2 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. szénérőműben termelt villamosságát!), mely a környezetet súlyosan terheli. Emiatt, a cseppfolyósított hidrogén – a 7. táblázatban bemutatottak ellenére - sem tekinthető kémiaiilag tiszta energiának.

Megjegyzés: természetesen folyamatosan kutatják, a hidrogén környezetbarát előállításának további lehetőségeit.

- 1. Az ausztráliai Monash Egyetem által vezetett nemzetközi kutatócsoportnak a növényekben található vegyületeket felhasználva sikerült reprodukálnia a fotoszintézis egyik alapvető kémiai folyamatát. Így előkészítették az utat egy olyan új módszerhez, amelyben napfény felhasználásával hidrogénre és oxigénre bontható a víz. A továbbiakban olyan rendszert kívánnak létrehozni, amely alkalmas a növényi fotoszintézisben nélkülözhetetlen szerepet játszó mangántartalmú vegyületek "működtetésére", és így laboratóriumban utánozható a természetben napfény hatására lejátszódó elektrontranszport-folyamat. A növényekben ennek során a víz oxigénre és hidrogénre bomlik. Az oxigén főlzabradul és a levegőbe kerül, a hidrogén pedig részt vesz a további fotoszintézisben. Egy mangántartalmú csoport központi szerepet tölt be abban a folyamatban, amelynek révén a növények képesek víz, szén-dioxid és napfény felhasználásával szénhidrátokat és oxigént előállítani. E vegyületcsoport korábban kifejlesztett mesterséges változatával a vizet alkotóelemeire, oxigénre és hidrogénre bontották. Az áttörés akkor következett be, amikor egy Nafion nevű protonvezetővel burkolták be a rendszerben lévő anódot, hogy néhány mikrométer vastag polimer membrán alakuljon ki rajta. Ez szolgált a mangántartalmú csoportok hordozójaként. Amikor sikerült a normális körülmények között vízben nem oldódó katalizátort a Nafion-membrán pórusaihoz kötni, ezzel megakadályozták a vegyületek lebomlását, és egyúttal a víz is eljuthatott a katalizátorhoz, ahol fény hatására oxidálódott. A víz "oxidációjából" protonok és elektronok keletkeznek, amely hidrogéngázzá lehet alakítható. (A növények ezeket, a szénhidrátok előállításához használják fel.) Bár a rendszer hatékonyságát még növelni kell, a kutatók szerint óriási jelentőségű lehet a jövő energiagazdálkodása szempontjából.*
- 2. A firenzei egyetemen is új eljárást dolgoztak ki a hidrogén előállítására. Feltételezésük szerint egy speciális magasnyomású lézer és szervesetlen gázok kombinációjával ugyanaz az eredmény érhető el, mint a hagyományos elektrolízissel, vagy vízgőz metánnal történő bontásával. Mivel úgy az elektrolízis, mint a lézer alkalmazása meglehetősen költséges, a fizikai és kémiai eljárás egyesítésével törekednek költség-hatékony környezetkímélő előállítási technológiát kimunkálni. E folyamatban a vízhez először szén, vagy nitrogénoxidot adagolnak, majd 1000÷5000 bar nyomás alá helyezik. Az így létrejövő reakciót egy 350 nanométeres, UV-közeli hullámhosszon üzemelő sugárzó katalizálja. Ennek hatására a molekulák hidrogén- és hidroxidionokra bomlanak. Az egyensúly beállta közben a hidrogén atomok hidrogén molekulákká egyesülnek. A reakció környezetbarát, mert un. zárvány vegyületek segítségével, CO_2 kibocsátás nélkül valósítható meg.*
- 3. További számításba vehető részmegoldás, a "mikrobás tüzelőanyag-cellákkal" történő hidrogén-előállítás. A berendezés működtetéséhez kevesebb energia szükséges, mint a mobiltelefonhoz felhasznált energia 5 százaléka, s olyan biomasszából nyer ki hidrogént, amely nem bontható le természetes úton. A hagyományos, hidrogént termelő*

fermentációhoz szénhidrát alapú biomassza szükséges. A reakcióban a hidrogénen kívül különböző melléktermékek is keletkeznek (például ecetsav és vajsav), amelyeket a baktériumok már nem bontanak le hidrogénné. A kutatók ezért, olyan mikrobás tüzelőanyag-cellát módosítottak a hidrogén előállításához, amelyet korábban szennyvíz tisztítására terveztek. A hidrogéntermeléshez eltávolították az oxigént a rendszerből és egy kevés energiát tápláltak be. 0,25 voltal négyszer annyi hidrogént állítottak elő, mint a hagyományos fermentáció során, és a cella minden biológiai úton lebontható, oldott szerves anyaggal használható. Természetesen nincs annyi hulladék biomassza, hogy a világ teljes hidrogénszükségletét kielégítse, de ez a fajta megújuló energiatermelés úgy csökkentheti a szennyvízkezelés költségeit, hogy a hidrogént energiaforrásként hasznosítsák.

3.3.2. 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 ($\Delta t = 21$ °C) fenntartható cseppfolyós halmazállapotában is viszonylag kicsi a sűrűsége $\rho_{\text{CH}_4} = 424 \div 453$ kg/m³ (v.ö. 6. 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, hűtőképessége 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 ($\Delta t = 145$ °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.

3.3.3. Propán (C₃H₈)

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 olvashatóak ki.

A cseppfolyós halmazállapothoz tartozó szélesebb hőmérséklettartomány és magasabb forrási hőmérséklet (-42 °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 ($\rho_{\text{C}_3\text{H}_8} = 582 \div 733$ kg/m³), és az égéshő figyelembe vételével, kerozinével ekvivalens energia tárolása mindössze 4÷8 %-kal nagyobb tartálytérfogatot igényel. Mindez valószínűsíti, hogy a meglévő repülőgépek szükségszerűen 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.

3.3.4. Bután (C_4H_{10})

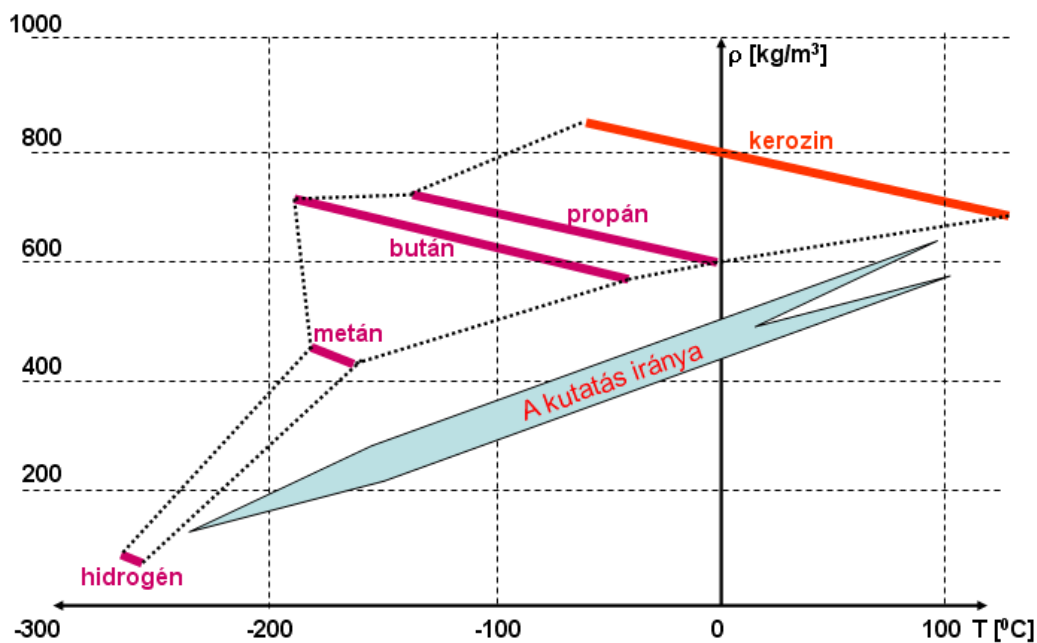
A 6. táblázatban közölt fizikai jellemzői alapján megállapítható, hogy ennek a gáznak a tulajdonságai állnak legközelebb a repülő-benzinéhez, illetve kerozinéhez, a vele folytatott, előrehaladott repülő-kísérleteknek dokumentáltan, kimutatható eredményei vannak. A gyakorlati alkalmazást nagymértékben segíti, hogy forráspontja sarkkörön túli regionális vonalaknál 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 lemezlappokkal 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.

3.4. A kriogén gázok üzemanyagként történő gyakorlati alkalmazásának lehetőségei

Az előzőekben bemutatott cseppfolyósított gázok fizikai, termodinamikai jellemzői a 6. táblázatból ismerhetők meg. Ezek közül is döntően az alkalmazhatóság hőmérséklete és termikus intervalluma (12. ábra) alapvetően meghatározzák a kutatás és a várható alkalmazás gazdaságosságát (8. táblázat), ezen keresztül bevezethetőségének idejét, kronológiai sorrendjét.



12. ábra

Az árakat tekintve, a jelenlegi technológiákkal, egységnyi energia tartalmat figyelembe véve, az LH_2 ára 10÷15-szöröse a kerozinénak (8. táblázat), ami – előrejelzések szerint - leg hamarabb 2010 után csökkenhet kismértékben, de ~2030-nál előbb nem közelítheti azt.

Valószínűsíthetően, ennek oka sem elsődlegesen a cseppfolyósított hidrogén előállítási költségeinek 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.

8. táblázat

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 rendsz.	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

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 légijárműveken 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 fémes anyagok 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.

Ugyanakkor lényegesen kevesebb technikai kihívást tartalmazó bután és propán üzemanyagként történő felhasználása. Az alkalmazásukkal kapcsolatos alapkutatások döntő többsége, sőt az összehasonlító tesztrepülések egy része is megtörtént. Ennek eszközéül a MI-8MT helikoptert használták (13. ábra).

Az összehasonlító tesztrepülések eredményeit a 9. 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.



13. ábra

A gáz, kerozinét meghaladó hőfejlesztő képessége miatt a MI-8MTG óránkénti és kilométerenkénti üzemanyag-fogyasztása is egyaránt ~2 %-kal csökkent (N^o 5. és 6.). Ennek is következménye, hogy a MI-8MTG, 1800 literes gáztartályok miatt 738 km-re növekedett hatótávolságát a kerozinnal működő helikopter csak 260 kg plusz üzemanyag, felvételével képes elérni (ld. 7. oszlop)

A helikopterekkel folytatott komplex kísérleti repülések eredményei alapján a gáz üzemanyagra állítottak át néhány IL-114-es, belföldi, regionális légiszállításban használt merevszárnyú repülőgépet is (14. ábra). A tesztek együttes tapasztalatai egyértelműen igazolták, hogy ebben a kategóriában a propán (-bután-stb.) gázüzemanyag keverék(ek)re történő áttérés nem rontja a légi járművek gazdaságossági- hatékonysági jellemzőit.



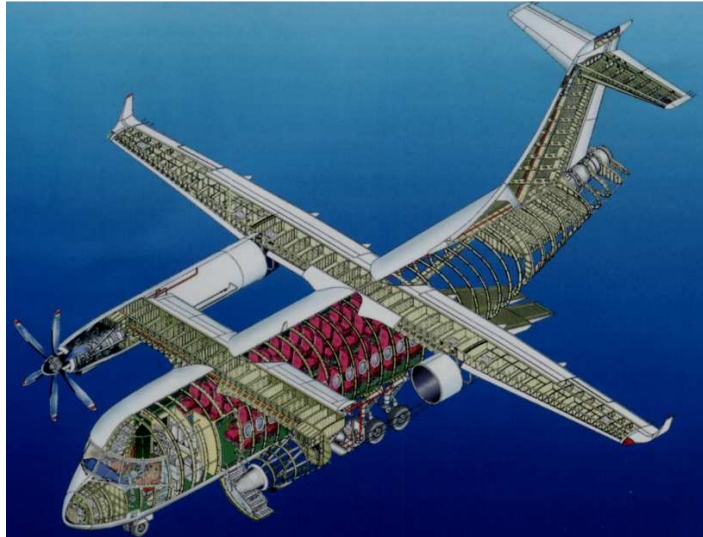
14. ábra

9. táblázat

N ^o	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

A kísérletek további eredményeként megkezdték a teljesen gázüzemű TU-156-os légszárnyas-gázturbinás repülőgép tervezését (15. 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. 2009-ben, a Qatar Airways egyik - két, Rolls Royce Trent 556,



15. ábra

kétáramú, gázturbinás hajtóművel felszerelt - Airbus A340-600-asa, repülőgépe volt az első kereskedelmi légi jármű a világon, mely földgázból előállított üzemanyag keverékkel repült Londontól Doháig. A Shell fejlesztette ki és gyártotta az 50%-ban szintetikus **Gas to Liquids (GTL)** cseppfolyósított gázt, valamint 50%-ban hagyományos olaj-alapú kerozint tartalmazó üzemanyagot. Elégetése során kevesebb kéndioxid és más káros anyag kerül a levegőbe, mint tiszta kerozin elégetésekor, így a levegőt is kevésbé szennyezi.

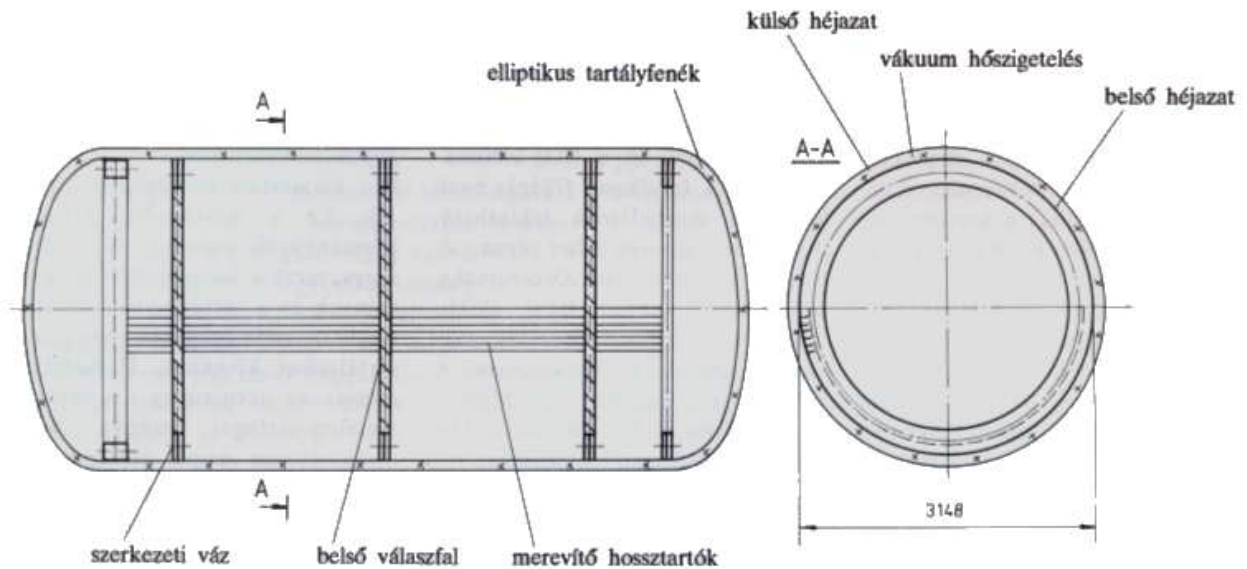
A hagyományos üzemanyag és GTL elegyének új neve **GTL Jet Fuel** lesz. Ez a repülőút volt az utolsó lépcsője annak a több mint két éve zajló tudományos kutatásnak, melyet az Airbus, a Qatar Airways, a Qatar Petroleum, a Qatar Science & Technology Park, a Rolls-Royce, a Shell és a WOQOD konzorciuma folytatott 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.

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

3.5.1. Fedélzeti gáztartályok és csövek

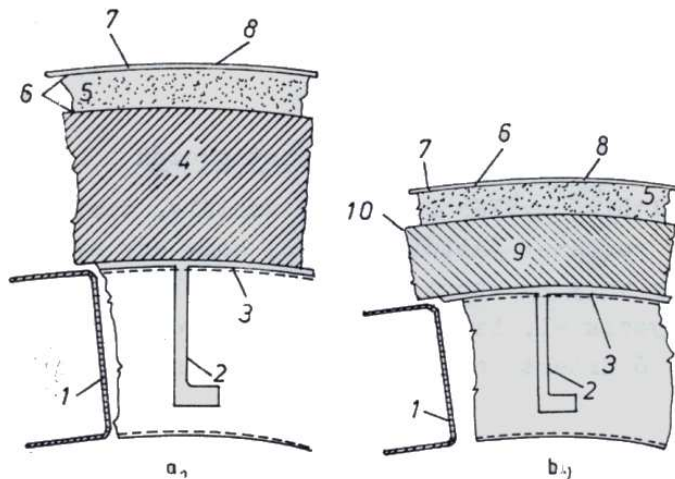
A cseppfolyósított gázok tárolása alacsony hőmérsékleten és/vagy magas nyomáson történik. Így a tárolásra alkalmas *tartály* (16. ábra):

- lényegesen szilárdabb konstrukció szükséges mint a hagyományos kerozin tároló tartályok, a reá 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.

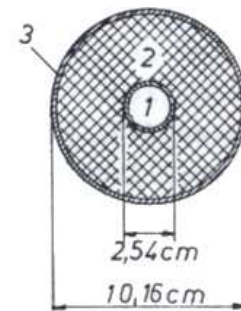


16. ábra

Tapasztalatok szerint kétféle megoldású tartály-hőszigetelés mutatkozik alkalmazhatónak és továbbfejleszhetőnek cseppfolyósított gázok tárolására (17. ábra). Mindkét változatot keretszerkezethez (1) rögzítik, falukat (3) hosszmerevítők (2) erősítik.



17. ábra



18. ábra

A vaskosabb, súlyosabb konstrukciót eredményező megoldásnál (17. a. ábra) a tartály falára széles, zárt pórusú fenoplaszt réteget (4) rögzítenek. Ebben a 0,127 mm vastagságú MAAMF, többrétegű alumíniumszálas szövetrétegek (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 N_2 gázt vezetnek (amiből, számítások szerint 9000 km megtételéhez 90 kg felhasználása szükséges!).

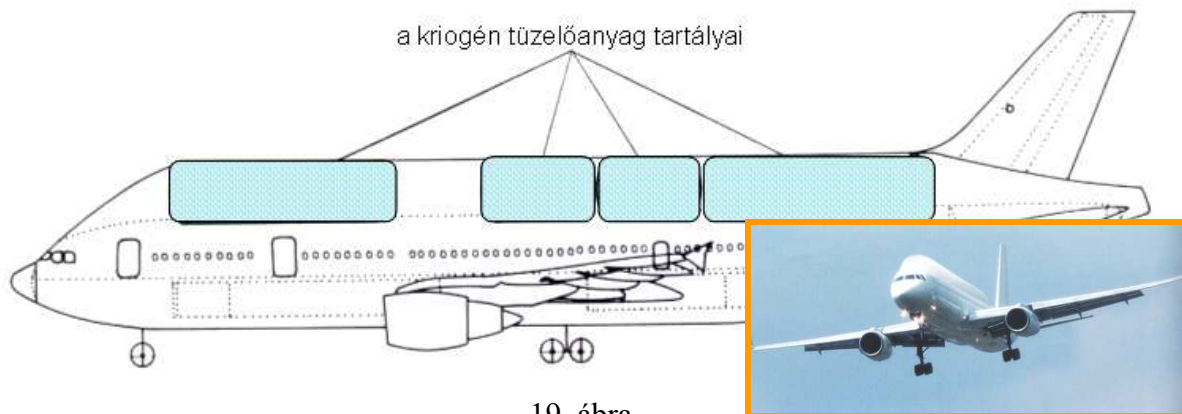
A drágább, könnyebb és vékonyabb kialakításnál (-28 mm) (17 b. ábra) hőszigetelőként vákuumot (9) ($p \approx 13$ Pa) alkalmaznak, melyet vákuum-szivattyú tart fenn. A vákuumteret a N_2 -vel hűtött, hajlékony fenoplaszt rétegből (5) a 0,127 mm vastagságú bor-szilikát zóna (10) választja el. (A számozás és funkció azonos a két ábrán).

Számottevően megnöveli az *üzemanyagcsövek* (18. ábra) súlyát és szükséges térfogatot, amennyiben cseppfolyósított gázokat szállítanak bennük. Például a cseppfolyós H_2 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 (19. ábra).

Az ábrán egy ismert, jelenleg is széles körben használatos, korszerű közforgalmú utasszállító repülőgép gázzal üzemelő változatának kontúrrajza, illetve a tervezett „gázos” TU-204-es 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.



19. ábra

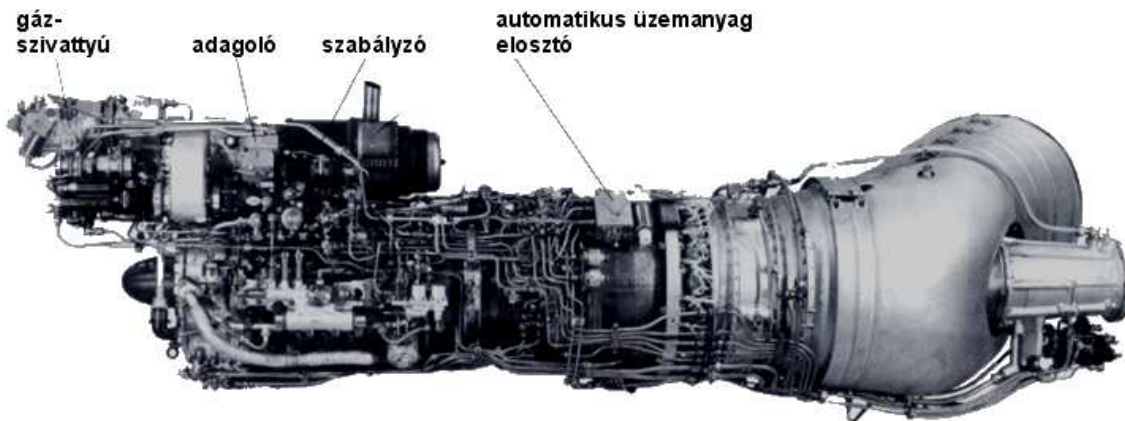
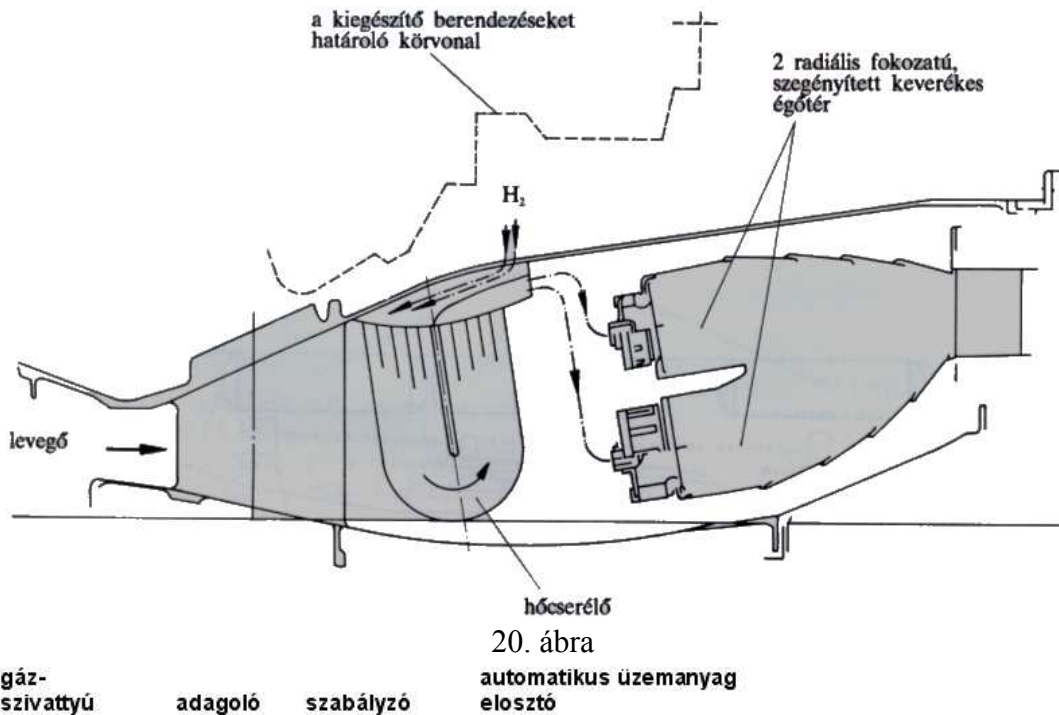
Az üzemeltetés során további lényeges különbség, hogy e a gázok nagyrésze (pl. LH₂, LCH₄) – külön energia betáplálása nélkül - cseppfolyós állapotban, a repülést követően nem maradhatnak a tartályokban.

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 égőtér teljesen át kell alakítani a hidrogén (metán) előnyös tulajdonságainak hasznosítására. Az alapvető konstrukciós törekvés a nitrogénoxidok kibocsátásának csökkentése.

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

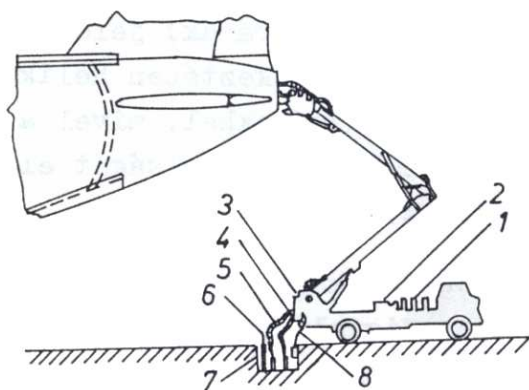
Az alacsony hőmérsékletű cseppfolyós gázokkal jól hűthetők az olajrendszer, a légkondicionáló rendszer, a turbinalapátok, a sárkány egyes elemei, miközben az égőtérbe táplált üzemanyag is előmelegíthető.



Jól láthatóan, a lényegesen magasabb üzemi hőmérsékletű propán-bután üzemanyaggal működő TV-3 hajtómű (21. ábra) szerkezeti kialakítása a kerozin üzeműhöz képest, érdemben nem változott.

3.6. A repülőtéri kiszolgálás eszközei és az infrastruktúra

A cseppfolyósított gázokkal üzemelő légitűjarművek tüzelőanyaggal történő feltöltése



(leszívása) különbözik a benzinnel és kerozinnal üzemelő rendszerekétől (23. ábra). A töltő-leszívó berendezés hermetikusan és hőszigetelten csatlakozik a repülőgép farokrészéhez. A gépjármű (3), a földalatti tápcsatornában (7) levő vezetékek (4; 5; 6) és a repülőgép töltőcsonkjára összekapcsolására szolgál. Ezt megelőzően, a gépkocsi saját semleges gázrendszeréből (1) 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 H_2 gyors felmelegedésének megakadályozására vákuum-szivattyúval (2) a gázneművé vált felmelegedett hidrogént elszívják és helyére a tartályok folyadék feletti terébe hűtöttet (5) vezetnek. Amikor a feltöltött gép nincs a repülőtéri táprendszerre csatolva, a tüzelőanyagrendszer biztosító szelepei lehetővé teszik a felmelegedett, gáz-halmazállapotúvá vált H_2 távozását a szabadba.

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 üzemanyagtöltő 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 (23. és 24. ábra)



23. ábra



24. ábra

4. AZ ATOMENERGIÁVAL MŰKÖDŐ REPÜLŐGÉPEK LÉTREHOZÁSA

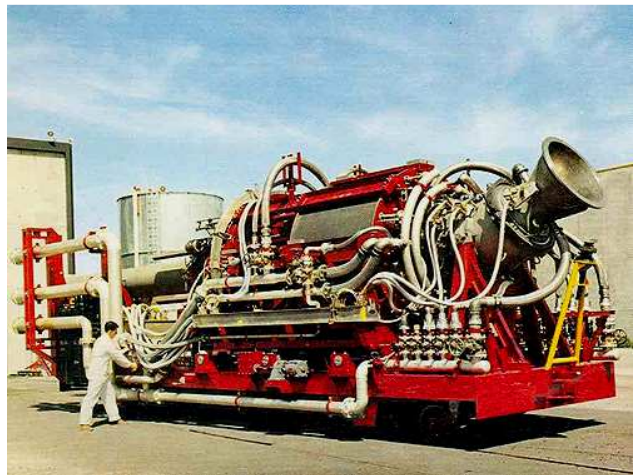
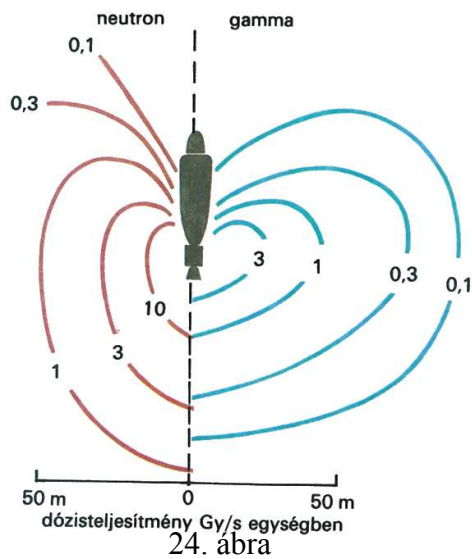
Gyakorlatilag az '50-es években megjelent az igény a nukleáris energia repülőgép üzemanyagként történő hasznosítására. A számításba vett urán 233-as, 235-ös, a plutónium 239-es izotópjának alkalmazásával, egységnyi tömegeből milliószor nagyobb energia szabadítható fel, mint bármely más tüzelőanyagból. 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 24. 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

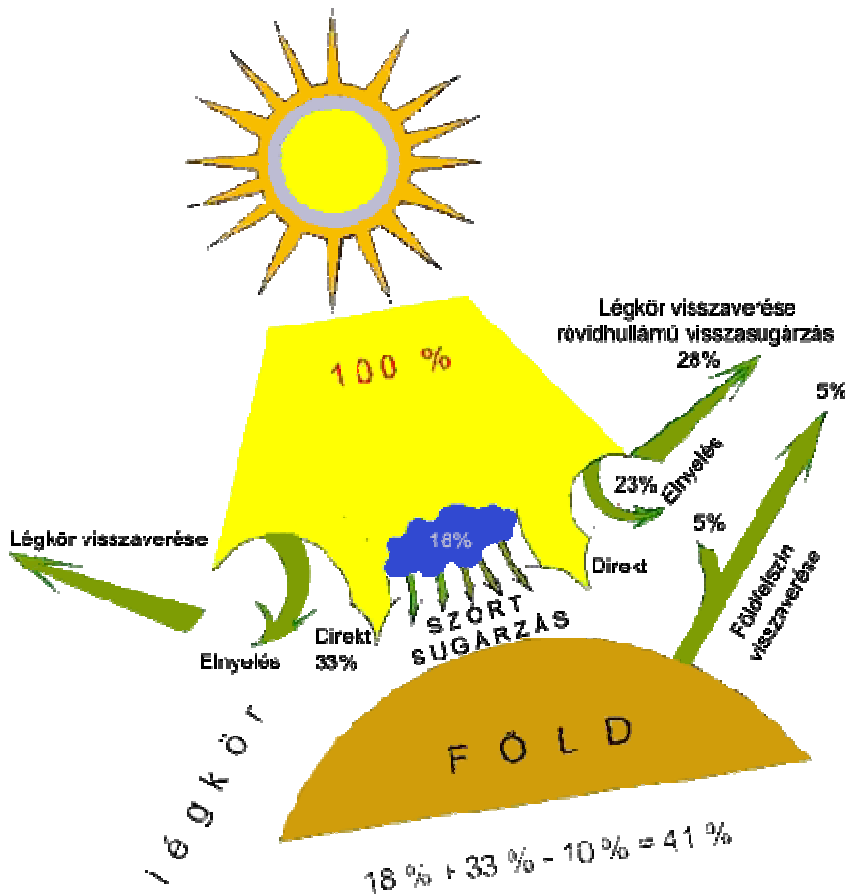
létre a tolóerőt. Egy ilyen, a '60-as években fejlesztett 500 MW teljesítményű kísérleti reaktor (Tory) látható a 25. ábrán.



25. ábra

5. NAPENERGIA A REPÜLÉSBEN

A valóban környezetkímélő energiák egyike a napenergia, amely a napban lejátszódó



26. ábra

magfúziós folyamatok során felszabaduló energia. Hasznosíthatóságát alapvetően az indokolja, hogy a napból 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 éventeként megközelítőleg 219 milliárd GWh sugárzási energia éri el a földfelszín, ami 2500-szorosa napjaink teljes energia szükségletének. Hozzávetőleg három óra napsugárzás képes fedezni földünk éves energia szükségletét (26. ábra)

A légkörben jelen lévő vízpára és jég kristályok elnyelésének eredményeképpen a földfelszín ténylegesen elérő sugárzási energia 1000 W/m^2 , sík felszínen, a nap legmagasabb állásában.

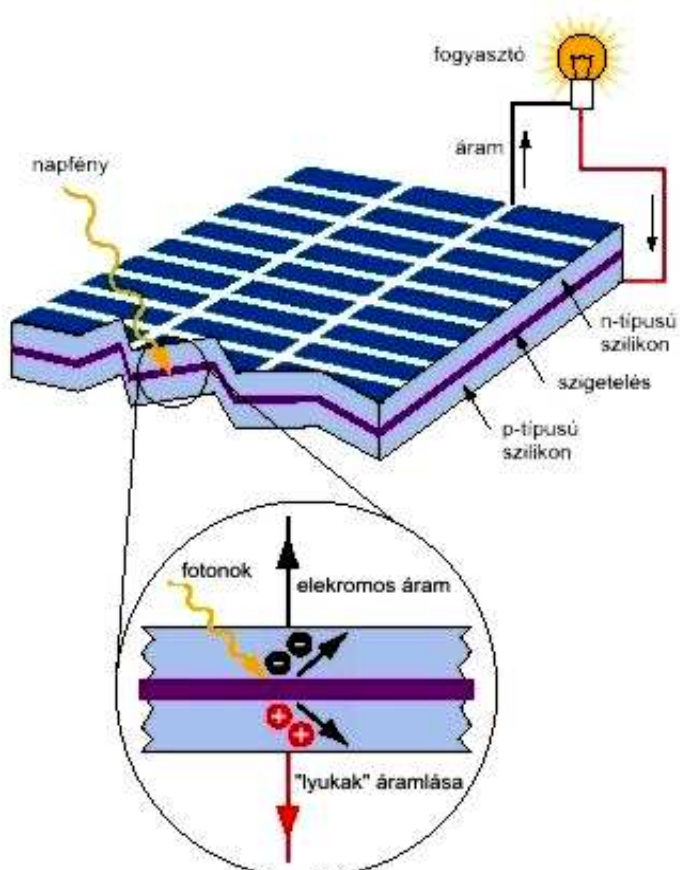
A beeső sugárzási energia a légköri körülmények függvényében 50 W/m^2 -től (erősen felhős idő) 1200 W/m^2 -ig (optimális felhőzet) változik. Európában a napi átlagos sugárzási energia $2,2 \div 4,8 \text{ kWó/m}^2$ nap.

Jelenleg hasznosítása elhanyagolható (fejlett ipari országokban is csupán 7 % és v.ö. 7. ábra!), pedig számos kedvező tényező szól mellette:

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

Azok a készülékek, amelyek a napenergiát képesek számunkra hatékony módon hasznosítani a napkollektorok és a napelemek (aktív napenergia hasznosítás). (Közvetett módon a hőszivattyúk is a napenergiát hasznosítják, de ezek a napkollektorral együttesen a repülésben jelenleg hasznosíthatóak).

A cellákból felépülő napelemek működésének alapja (27. ábra), hogy a fénysugárzás



forrás: Australian CRC for Renewable Energy Ltd (ACRE)

www.xsany.com

27. ábra

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.

Az elektron-lyuk párok szétválasztása három alapvető módon történik:

- azonos félvezetőanyag eltérő szennyezésével kialakított rétegekkel;
- eltérő anyagú félvezető rétegekkel;
- fém és félvezető rétegekkel.

A fotocellák kétféle anyagot tartalmaznak, ezeket p- és n-típusú félvezetőknek nevezik. Bizonyos hullámhosszú fény képes, a félvezető atomjainak ionizációjára, ezáltal a beeső fotonok többlet töltéshordozókat hoznak létre. A pozitív töltéshordozók (lyukak) a p-rétegben, míg a negatív töltéshordozók (elektronok) az n-rétegben lesznek többségben. A két ellentétes

töltésű réteg töltéshordozói - bár vonzzák egymást - csak egy külső áramkörön keresztül áramolva képesek rekombinálódni, a köztük lévő potenciál-lépcső miatt.

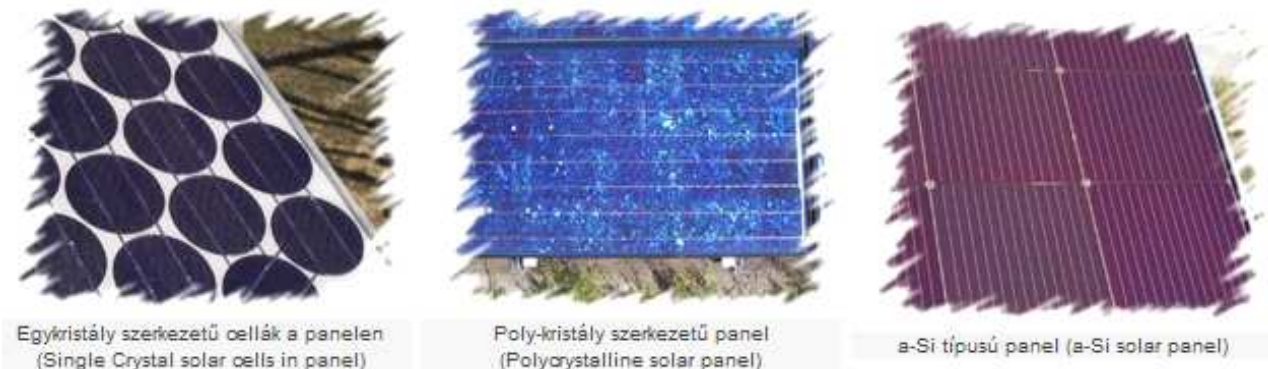
Egy fotoelektromos cella teljesítményét a következők határozzák meg:

- a típusa és mérete a szolár cella anyagának;
- a fény intenzitása;
- a fény hullámhossza.

A szimpla Si kristály alapú szolár cellák például nem képesek a napsugárzás energiájának 25 % -nál többet elektromos árammá alakítani, mivel az infravörös tartományban a fénynek nincs elég energiája, hogy ionizálja a félvezető atomjait. A polikristályos Si szolár cellák hatásfoka ~20 %, az amorf Si celláké ~10 %.

Egy tipikus Si kristály alapú szolár cella $1,5 \text{ W} / 100 \text{ cm}^2$ teljesítményt ad le (0,5 V DC feszültség és 3 A áramerősség) teljes nyári napsütésnél (1000 W/m^2). A létrehozott teljesítmény közel egyenesen arányos a napsütés intenzitásával. A szolár cellák egyik fontos tulajdonsága, hogy feszültségük nem függ a méretüktől, és a fény intenzitásának változásától, áramerősségük viszont egyenesen arányos ezekkel. Így, a különböző napelemek összehasonlítására a áramerősség/felületegység (A/cm^2) mérőszám ad felvilágosítást.

A paneleket alkotó nap- (vagy szolár-)cellák nem egy egységes technológia termékei, hanem több, hasonló elven kialakított eljárás eredményei (28. ábra).



28. ábra

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. Ezekből a modulokból állíthatóak elő a felhasználó számára a szolár rendszerek, amelyek mérete egyebek közt a napsugárzás mennyiségétől, az elhelyezés körülményeitől, a felhasználói igényektől. A napelemes rendszer a szolár cellákon kívül tartalmazza még az elektromos csatlakozásokat, az illesztési eszközöket, teljesítmény szabályozókat, és az akkumulátorokat

PV (photovoltaic) panelek

Egy egyszerű cella körülbelül 0,5 V-ot tud előállítani. Ezeket párhuzamosan és/vagy sorba köthetőek, ezáltal nagyobb áramerősséget/feszültséget érhető el. A kapcsolások módja és az összekötött cellák száma alapján az alábbi három kategóriába sorolhatóak a panelek:

- *Alacsony feszültség /kis panelok/:*

3÷12 kisméretű amorf szilícium PV néhány négyzetcentiméter területet foglal. 1,5÷6 V feszültséget képes előállítani és néhány milliwatt a teljesítménye. Jellemzője a kis méret és a nagy szériaszám. Általában kisebb készülékek, pl. számológépek, órák és fényképezőgépek árammal való ellátására szolgálnak.

- *Kis panelok 1÷10 Watt teljesítménnyel:*

Feszültségük 3÷12 V, méretük 100÷1000 cm²-ig terjed. A cellák általában 100 cm²-esek, jellemzően egy- vagy polikristály szerkezetűek, esetenként amorf szilikon-panelekből is felépülhetnek. Általában rádiók, játékok és kisebb szivattyúk táplálására, vagy akkumulátorok töltésére alkalmasak.

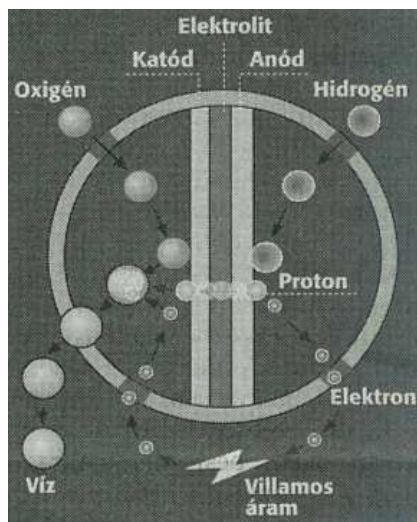
- *Nagy panelok 10÷60 Watt teljesítménnyel:*

Feszültségük általában 6÷12 V, méretük 1000÷5000 cm²-ig terjed és 10÷36 összekötött cellát tartalmaznak. Alkalmazási területeik: lakóautók áramellátása, szivattyúk meghajtása, távüzemeltetésű berendezések elektromos ellátása (RAPS).

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** (29. ábra) 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.



29. ábra



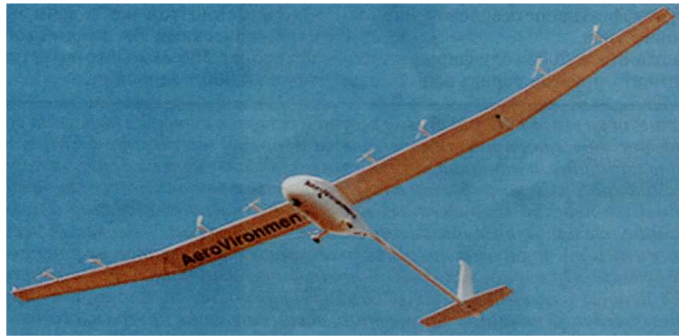
30. ábra

A felsorolt műszaki kérdések – legalább részleges - megoldására építette a NASA, a '90-es évek második felében, a 30. ábrán látható napelemekkel borított (csupa-) szárnyú kísérleti repülőgépet, mely klimatikus viszonyoktól (t_{lev} , H_{rep} , ρ_{lev} , stb.) függetlenül volt képes napokig $H > 20$ km-es repülési magasságban tartózkodni. Nyolc darab, egyenként néhány száz Watt teljesítményű hajtóműve csak a sárkányszerkezet önsúlyának levegőben tartására volt alkalmas, érdemi hasznos terhelhetőség nélkül.

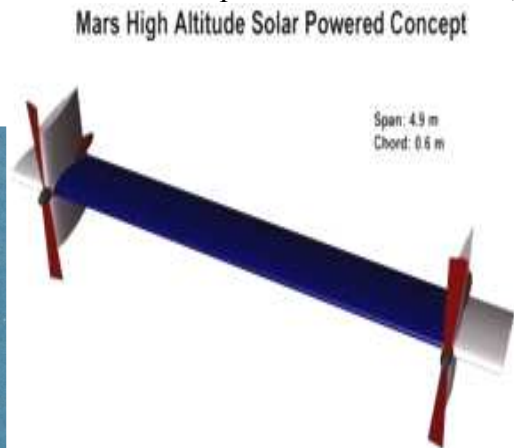
Napjaink műszaki színvonala lehetővé teszi olyan villamos meghajtású robot-repülőgépek szériában történő megépítését (pl. 31. ábra, „Global Observer”), amelynek fedélzeti

táprendszere már alkalmas a hajtóművek, vezérlő és hírközlő rendszerek, valamint a felderítő konténer egyidejű működtetésére.

Számításba vett alternatíva a napelemes meghajtás számára a bolygókutatás. Minden olyan bolygón, amelyiknek valamilyen aerodinamikai felhajtóerő létrehozására alkalmas légköre van, illetve a termikus és fényviszonyok lehetővé teszik a napelemek működtetését, használható szoláris energiával üzemelő repülőgép.



31. ábra



32. ábra

A 32. ábrán látható, csak egy napelemekkel borított 4,9 méteres fesztávolságú 0,6 méteres húr hosszú téglalap alaprajzú egyenes szárnyból álló UAV repülő szerkezetet – egy hosszabb kísérletsorozat elemeként - magaslégköri kutatásra és meteorológiai felderítésre tervezték a Marson. Valószínűsíthetően, nem a bolygó felszínéről szállna fel, hanem még a légkörbe érés közben az űrjárműről (leszállóegységről) indítják. Ezt követően tetszőlegesen hosszú ideig tartózkodhat a légkörben. A repülőgép próbaútjai 2003-ban kezdődtek meg, a Földön..

6. A „TELJESEN VILLAMOSÍTOTT” REPÜLŐGÉP

Az alternatív hajtómű üzemanyagok kutatásával párhuzamosan, a '70-es évektől több ország kutatóintézetében vizsgálták, vizsgálják a rendszeren belüli szükség szerű 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 hidromechanikusát 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.

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;

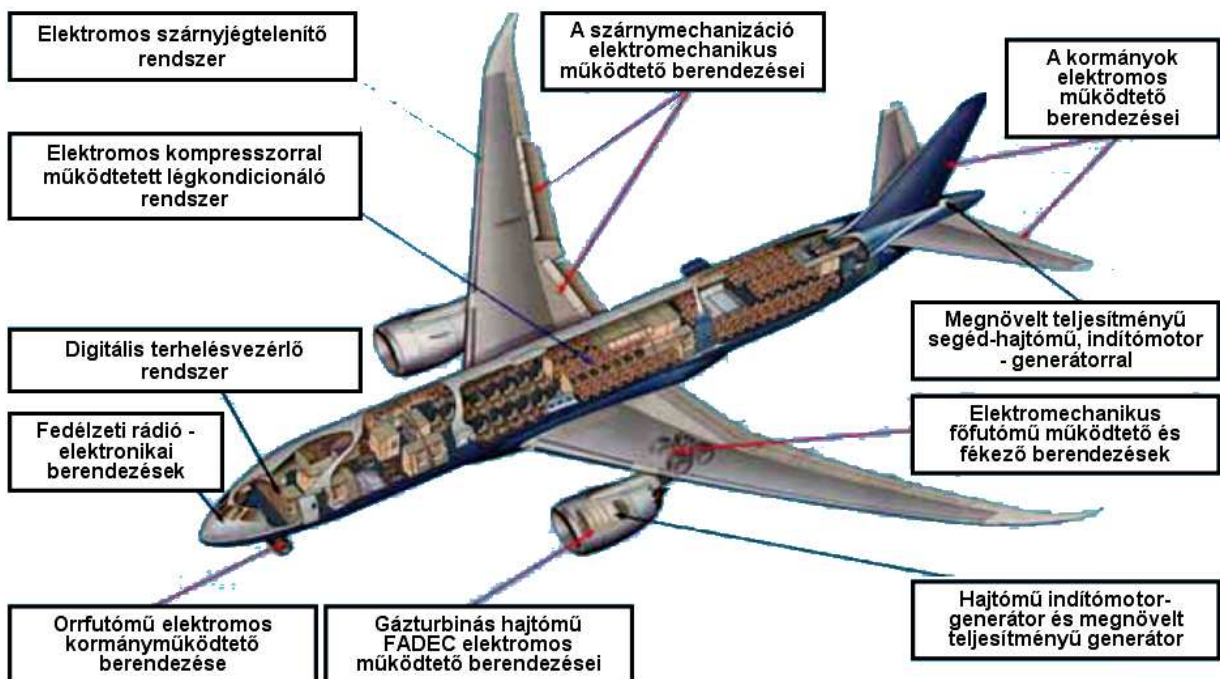
- a fedélzeti légkondicionáló rendszerek – teljesítményigényükön túl jelentős levegő mennyiséget is elvonnak a hajtómű kompresszorfokozatától, ami rontja annak hatásfokát.

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

- üzemanyag megtakarítás 8÷12 %;
- felszálló tömeg csökkenés 6÷10 %;
- a közvetlen üzemeltetési költségek 5÷10 %-os, az élettartam költségek 3÷5 %-os csökkenése;
- az egy meghibásodásra eső repült idő 5÷6 %-os növekedése;
- a műszaki kiszolgálási idő 4÷4,5 %-os csökkenése.

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: OEA - 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 33. ábrán látható – hagyományosan, többnyire más energiaforrásról táplált – rendszerek 100 %-os elektromos működtetését célszerűsíti.

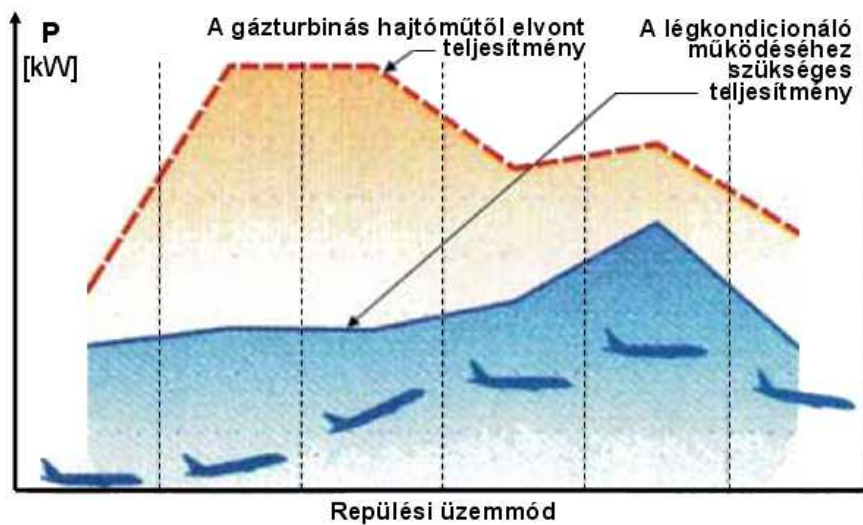


33. ábra

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”).

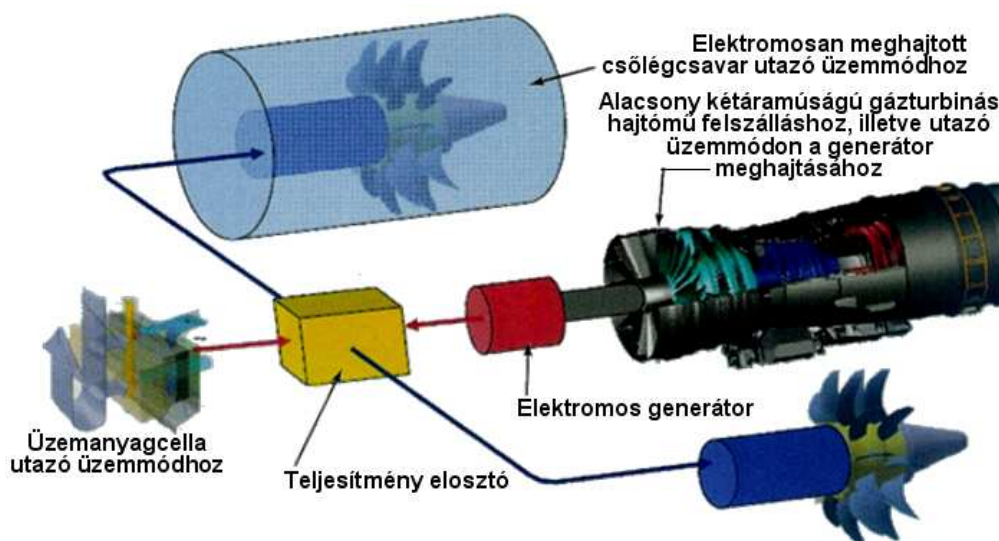
A program keretei között a gazdaságosság javításának egyik meghatározó eleme a hajtómű(vek)től - alapvetően a légkondicionáló, esetenként jégtelenítő rendszer(ek) táplálására szolgáló - levegő elvonásának megszüntetése. Ez annál is fontosabb, mert a légkondicionáló működtetéséhez szükséges teljesítmény eléri, sőt meg is haladhatja az 500 kW-ot, ráadásul a szükséges és a tényleges elvonás mértéke a repülés különböző fázisaiban nagymértékben különbözhet (34. ábra). 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) üzemanyag fogyasztása 1÷2 %-kal csökken.



34. ábra

A kutatások eredményei szerint, 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-szorosságra (270÷540 V) szükséges emelni.



35. ábra

A jelenleg folyó kutatások két fontos megoldandó kérdése:

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

Első esetben a legnagyobb nehézséget az jelenti, 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, csak 1÷3 fokozatú fordulatszám-csökkentő egység (pl. bolygómű) alkalmazásával lehetséges. Belátható, hogy – különösen 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 is lényegesen növelné, a légszennyezést markánsan csökkentené a légszavarak elektromos meghajtása, legalább utazó üzemmódon. A gázturbinás hajtómű ennél a megoldásnál csak a felszálláshoz szolgáltató kisegítő tolóerőt, a repülés további szakaszaiban mint villamos erőmű meghajtóegysége működne (35. 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/tudomány](#), 2008. 04. 22., 8:40
3. [Jakabffy Éva](#) Kék bolygó, zöld jövő – mennyire zöldek a megújuló energiák? [www.origo.hu/tudomány](#), 2008. 05. 02., 8:08
4. Kis kémiai szótár, GONDOLAT KIADÓ, Bp. 1972.
5. Környezetbarát energia a vízből – a jövő a hidrogén lehet, [www.origo.hu/tudomány](#), 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.
8. Pesthy Gábor: Áttörés a hidrogén előállításában, [www.origo.hu/tudomány](#), 2008. 08. 19.
9. Szenzáció, itt a repülőgép ami gázzal működik, [www.hvg.hu](#) 2009. 11. 05.
10. Új hidrogénforrás, [www.termesztvilaga.hu](#) 2005. 06. 15.
11. [www.kekenergia.hu](#) Non-profit megújuló energiákat ismertető oldal : [Kyocera japán napelemek](#); Napenergia hasznosítása napkollektorral, napelemmel, hőszivattyúval;
12. Вороновым, С. – Каргополцев, В. – Кутасов, В.: „Полностью электрический самолет” АВИАПАНОРАМА 2009. 03-04. p.14-17.
13. Зайцев, В.: Новое топливо для авиации АВИАГЛОБУС 2009. 07. p. 10-13.
14. Катин, Д: Работы в США по оптимизации затрат на закупку топлива для военной авиации, ЗАРУБЕЖНОЕВОЕННООБОЗРЕНИЕ 2008. 07. p. 46-50.
15. Маврицкий, В. И. – Зайцев, В.: ЛТХ двухтопливного вертолета АВИАГЛОБУС 2009. 06. p. 16-17.
16. Чернышев, С. Л. – Ковалев, И. Е. – Маврицкий, В. И.: Переход на новое авиационное топливо АВИАГЛОБУС 2009. 09. p. 24-29.
17. Цены на авиатопливо будут снижены дважды Источник: «[Независимое Информационное Агентство](#)» Опубликовано: 12.12.2008, 18:01