

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Gépanyagszerkezetek és Rendszertani Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

TRAINSPOTTING – RITKA ÉS KÜLÖNLEGES VASÚTI MEGHAJTÁSOK

Szerző:

Veit András

gépészmérnöki szak, III. évfolyam

Konzulens:

Prof. Dr. Szunyogh Gábor

egyetemi tanár

BUDAPEST 2012

Írta: Veit András

Tördelés: Tóth Márk

Konzulens: Prof. Dr. Szunyogh Gábor

Adatok lezárva: 2012 október

ELŐSZÓ ÉS KEDVCSINÁLÓ

Kedves Olvasó!

Egy harmadéves gépészhallgató életének egyik nagy művét tartja a kezében. A tavalyi, 2011-es TDK-n elért második helyezésnek nagyon örültem, de még fontosabb volt, hogy végre megtapasztaltam, milyen az, amikor az addig csak hobbiszinten – sokszor a kötelező tanulmányi elfoglaltságaim rovására – űzött időtöltésnek – ha közel 10 év után is – meglesz a gyümölcse. Előző dolgozatomat nagy szeretettel, mindenféle anyagi vagy bármilyen más gyarapodás szándéka nélkül készítettem, nagy gonddal, középiskolás éveim során. Úgy vettem észre, hogy azoknak, akik kezükbe vették, és átlapozták, szintén tetszett az írás, de tisztában voltam azzal, hogy a nagy szeretettel írt, és 8 év után kinyomtatott dolgozat lapjain mindezek ellenére átüt a 14-16 éves gimnazista diák nyelvezete, valamint az időközben a vasút területén bekövetkezett változások hatására sok tekintetben idejét múlttá vált.

Ideje volt egy új, minden szempontból friss dolgozat megírásának, amely a már harmadéves, járműtechnika szakos hallgató szintén nem feltétlenül makulátlan, de jóval alaposabb ismereteivel, és még mindig annak a 14-16 éves középiskolás diáknak a megszállottságával, szeretetével készül el. A „Trainspotting” (amely magyarul vonatmegfigyelést jelent) címet kapott dolgozatnak a tavalyi TDK-s eredményhirdetés napján, még aznap este álltam neki, és nem mondhatom, hogy most fejeztem be.

Eredetileg egy jóval rövidebb írást terveztem, mindössze egy-két érdekesebb témát szerettem volna kidolgozni részletesen, csak hogy a kutatómunka során annyi új, különleges vonatot, vonattípust fedeztem fel, annyi új ötletem támadt, valamint ebben az egy évben is annyi változás történt a vasutak területén, hogy egyszer csak észre kellettennem; ezt talán soha nem tudom teljesen befejezni. Azt a 13, különleges vasúti meghajtást vagy megoldást bemutató fejezetet, amit ebben az egy évben sikerült megírnom, ezennel a legnagyobb örömmel és szeretettel mutatom be a Kedves Olvasónak, aki remélhetőleg legalább annyira fog örülni a most következő oldalaknak, mint amennyire nekem jelentett örömet a megírásuk! Jó szórakozást kívánok! Tisztelettel:

Veit András

Kedvcsináló

Mivel a könyv végül elég hosszú lett, arra gondoltam, hogy az egyes fejezetekről szóló rövid kedvcsináló összefoglalókkal mutatom be azok tartalmát. Mi is az? Hogyan találkoztam vele? Miért olyan érdekes? A kedvcsinálóból kiderül!

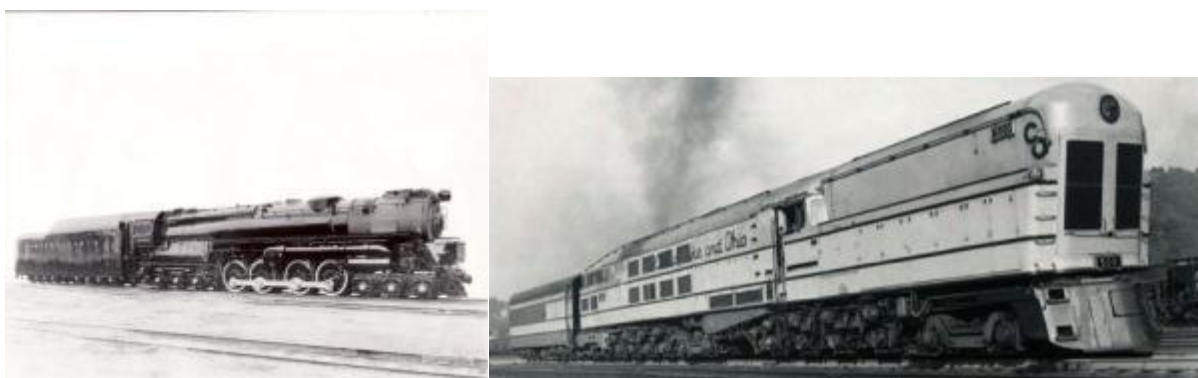
I. fejezet: Hagyományos mozdonymeghajtások

Ugyan a könyv témája a különleges vasúti meghajtások és megoldások, az első fejezet a „megszokott” mozdonyok működését, előnyeit, hátrányait, típusait foglalja össze. Azért volt szükség erre, mert a nem hétköznapi megoldásokat általában e három hajtás valamilyen hiányossága ihlette, vagy egyszerűen csak többet, jobbat akartak alkotni azoknál. Hogy pontosan minél is jobbat? Ez a fejezet tárgyalja.



II. fejezet: Gőzturbinás mozdonyok

E sorok megírása és kinyomtatása több százezer lóerős gőzturbinák által termelt áram segítségével történhetett meg. Az, hogy a hő- és atomerőművekben gőzturbinákkal alakítják át a hőenergiát mozgási energiává (majd generátorokkal elektromossá), elég sokak által ismert tény. De hogy ezeket a gépeket a vasúton is alkalmazták volna, ezek a szerző számára is viszonylag új ismeretek voltak. A síneken valaha szolgált legerősebb gőzhajtású mozdonyok nem dugattyús gőzgépekkel – mint például a fenti képen is látható óriás-gőzös – hanem a percenként közel 10 ezret forduló gőzturbinákkal voltak képesek akkora teljesítményekre. A nagy sebességnél kis étvágyú, lassúmenetben viszont igazi gőz- és szénpazarló, hangjukkal egy felszálló sugárhajtású repülőt idéző gépeket a modern dízelmozdonyok állították vakvágányra a szó szoros, és átvitt értelmében egyaránt.



III. fejezet: Gázturbinás mozdonyok és motorkocsik

A modern utasszállító repülőgépek gyakorlatilag mindegyike valamilyen gázturbinát használ arra, hogy elérje az akár 900 km/h-s repülési sebességet, de a közlekedés más területein is hasznát vették már ezeknek az erőgépeknek az előnyeit. Pontosan, a vasútnál is. A gázturbinás hajtásnak a 70-es évekbeli olajválságok előtti, szinte ingyen kínált üzemanyagok ideje volt a fénykora. Hatalmas, a mai legnagyobb dízeleknel kétszer erősebb, a körüli Combino-k hosszúságával vetekedő mozdonyszörnyetegek vontattak egy kisebb konténerhajó kapacitásának megfelelő árut a legmeredekebb emelkedőkön, miközben nyomjukban egy vödörnyi szuokszerű nehézelj tűnt el annyi idő alatt, amíg ezt a mondatot végigolvassuk. Sajnos a két olajválság, a környezetvédelem, és az egyre erősebb dízelek szinte teljesen eltűntették ezeket az óriási (leginkább a tengerentúlon hódító, de Európába is eljutó) vasúti gólemeket.



IV. fejezet: Maglev vonatok

A jövő vasútja, így emlegetik őket. Már vagy 40 éve. A „síkba kiterített” villanymotorok segítségével súrlódás nélkül, még ma sem teljesen ismert, mekkora sebességekre képesek vonatok valóban alapjaiban változtathatják meg a XXI. század vasútról alkotott fogalmait. Léteznek már? Hol lehet velük utazni? Választ kapunk rá ebben a fejezetben, ahogy arra is, miért a jövő vasútja a maglev, és miért nem a jelené.



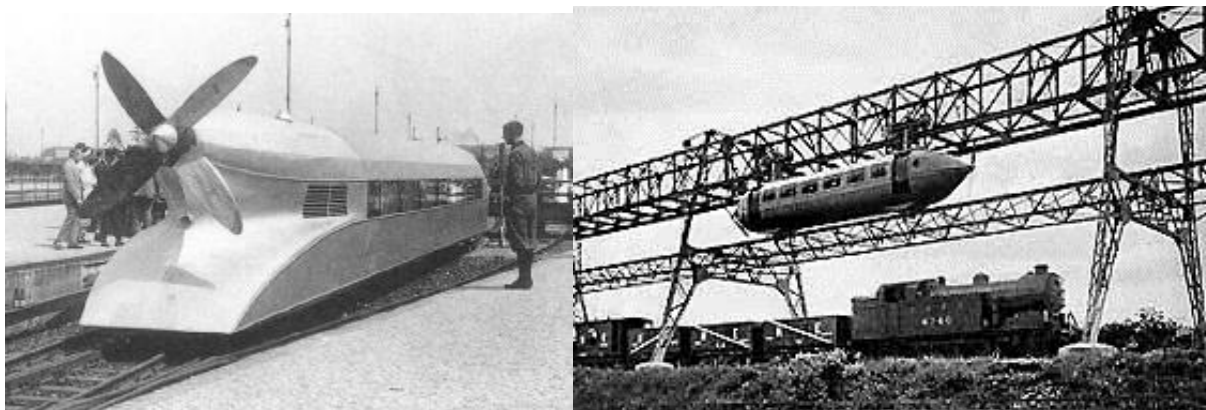
V. fejezet: Vákuumcsöves vasutak

Ha valaki dolgozott már valamelyik hipermarketet pénztárában, és kasszazáráskor adta már fel az aznapi bevételt (vagy legalábbis megfigyelte az eseményeket), az biztosan találkozott már az ún. pneumatikus szállítóeszközökkel, ahol a légmentesen záró kapszula két fele között nyomáskülönbséget hoznak létre, és ez mozgatja a küldeményt. A vákuumcsöves vonatok ugyanígy működnek, csak nagyban. Elterjedésük a vasutak nagyon korai szakaszára esett, de akkoriban annyira modernnek tartották – nem véletlenül – őket, hogy pl. a viktoriánus Angliában szinte az összes, jövőképeket ábrázoló karikatúrán, festményen helyet kaptak a csövekben száguldozó kapszulavonatok. Miért nem ilyenekkel utazunk ma? Hogyan képes egy csapatnyi patkány megbénítani egy komplett vasútvonalat? Kiderül a fejezetből!



VI. fejezet: Légcsavaros vasúti járművek

A légcsavarokat az ember normális esetben a repülőgépekhez társítaná, de csak e fejezet elolvasásáig. Ha a repülőgépek olyan gyorsan tudnak repülni velük, miért ne próbáljuk ki a vasúton is? – gondolhatták a korabeli mérnökök. A választ pedig megadta rá a technikatörténelem.



VII. fejezet: Légpárnás vasúti járművek

Hogyan lehet egy vonatot megtanítani repülni? Sehogy, hacsaknem eleve olyanra építjük, hogy tudjon repülni (vagy legalábbis lebegni). Ha a Kedves Olvasó játszott már valaha valamelyik játékteremben azzal a kedvelt korongjátékkal, akkor nem is kell neki elmagyarázni a légpárnás vonatok előnyeit, ha pedig belegondol, mennyi energia (illetve gázolaj) kell egy több száz tonnás vonat megemeléséhez, és közben 400 km/h-val történő mozgathatásához, akkor a hátrányait se.



VIII. fejezet: Ground Effect-vonatok

Ahogy a sima asztallapra hajított 99 %-os plastik-tartalmú pókerkártya, ugyanúgy repül-
nének az ún. Ground Effect (párnahatás) jelenségét kihasználó vonatok, amelyeket így
lehet, hogy helyesebb lenne repülőgépeknek nevezni. Vajon léteznek már ilyenek menet-
rend szerinti forgalomban is? A vezetőjüket masinistának, vagy pilótának hívják? A
Ground Effect-vonatokkal foglalkozó fejezet ezekre a kérdésekre is választ ad!



IX. fejezet: Akkumulátoros vasúti járművek

Amikor manapság az okostelefonokkal és a laptopokkal kapcsolatban az egyik legfonto-
sabb kérdés, hogy „hány órát bír az akksija”, képzeljük el, amikor ugyanezt a kérdést egy
5000 lóerős, 200 tonnás mozdonnyal kapcsolatban teszi fel a mellettünk álló dízelmoz-
donnyal érkező kolléga. Hol tartanak ma az akkumulátorok? Mikor jön el a fenti kérdés
ideje? Vannak-e egyáltalán akkus mozdonyok? Kiderül az akkumulátoros mozdonyokat
bemutató részből!



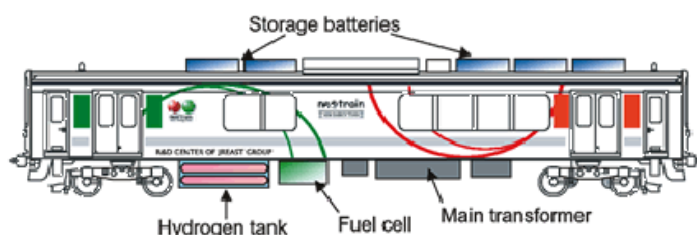
X. fejezet: Szuperkondenzátoros vasúti járművek

E viszonylag új találmány vasúti alkalmazása még nagyon gyerekcipőben jár, viszont nagy
jövőt jósolnak neki. A szuperkondenzátorok ugyanis mindenben jók, amiben az akkuk
nem, így ha a két tárolót „összeházasítjuk” (és persze elég nagy darabszámban gyártjuk
ahhoz, hogy olcsók lehessenek), egy minden szempontból kielégítő energiatárolási mód-
szert kapunk, amely talán a jövő ilyen problémáit is megoldhatja. Mennyire van ez távol?
Meglátjuk a dolgozat tizedik fejezetében!



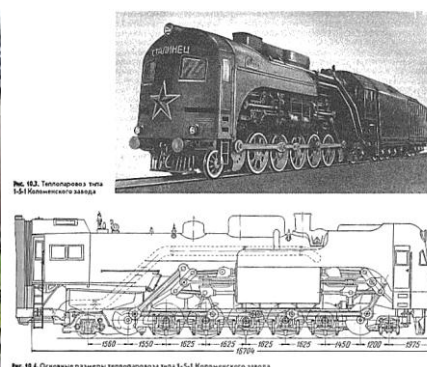
XI. fejezet: Üzemanyagcellás mozdonyok

Ha a jövő nem az elektromos meghajtásoké, akkor az egyik lehetőséget a hidrogént égető üzemanyagcellás járművek jelentik. Az autók között már akad néhány használható, ám egy új felsőkategóriás autó árértékére kapható, és a világban összesen kb. 100 helyen tankolható példány. A vonatoknál mi a helyzet? Rosszabb, jobb? A vizet kipufogó vasúti járművek történetét ez a fejezet mondja el.



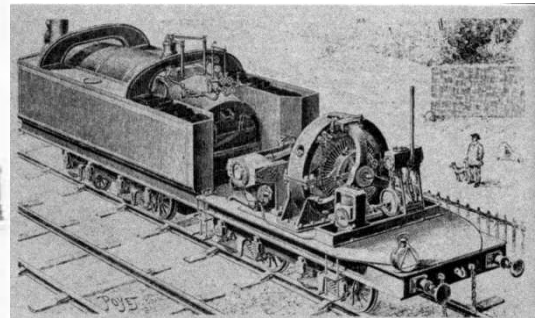
XII. fejezet: Többes üzemű mozdonyok és motorkocsik

Az eddigi fejezetek – ugyan voltak ott is „keveredések” – többé-kevésbé megegyeztek abban, hogy egy hajtás, vagy megoldás bemutatását célozták meg. A leghosszabb fejezetben azt vesszük górcső alá, mennyire éri meg az egyes hajtásokat „összeházasítani”. Jobbak vagy rosszabbak lesznek? Milyen egy áramszedős gőzmozdony? És egy dízelmotoros gőzös? Az utolsó előtti fejezet a többes hajtásokkal foglalkozik.



XIII. fejezet: Különleges gőzmozdonyok

A gőzösök több mint 100 évig uralkodtak a vasúti pályák felett. 100 év nagy idő, elég arra, hogy a fejlesztőmérnökök „beleunjanak” a sok hagyományos gőzösbe és új, szokatlan konstrukciókkal álljanak elő. 100 év arra is elég, hogy megjelenjenek új találmányok, bizonyok dízel- és villanymozdonyok, amelyektől félve szintén nem hétköznapi megoldásokra vetemedjenek a kor mérnökei. Hogy meddig mentek el? A dolgozat (jelenleg) utolsó fejezetét ezeknek a nagyszerű, de sokszor őrült találmányoknak szenteltem.



„Utószó”

Ha a Kedves Olvasó azt gondolja, hogy ezzel ki is lettek „végezve” a különleges vasúti hajtások, akkor legalábbis messze jár az igazságtól. Tűznélküli gőzösök, lendkerekes vonatok, rakéta(!!!) mozdonyok... téma van bőven, csak legyen, aki megírja, és legyen, aki elolvassa!

Felhasznált képek:

<http://www.futtyvadasz.hu>

<http://absurdonio.tumblr.com>

<http://users.atw.hu>

<http://www.hochgeschwindigkeitszuege.com>

<http://www.billspennsyphotos.com>

<http://technabob.com>

<http://www.douglas-self.com>

<http://green.autoblog.com>

<http://ptatransitauthority.blogspot.hu>

<http://www.engrailhistory.info>

<http://www.boiledbeans.net>

<http://en.wikipedia.org>

<http://www.poptens.com>

<http://greenbigtruck.com>

<http://4.bp.blogspot.com>

<http://www.capsu.org>

<http://www.hows.org.uk>

<http://www.monorails.org>

BEVEZETÉS: HAGYOMÁNYOS MOZDONYMEGHAJ- TÁSOK



Bevezetés

A vasúti vontatás történetében rengeteg hajtásrendszerrel kísérleteztek a mérnökök, de ezek közül csak három alapvető típus tudott elterjedni; a gőzösök, a dízelmozdonyok, és villanymozdonyok (és motorkocsik). Ebben a dolgozatban viszont nem ezekkel, hanem a – valamilyen okból – ritka, vagy éppen különleges megoldásokkal foglalkozunk, mely során bemutatjuk működésüket, történetüket, megvizsgáljuk, milyen okok vezettek ahhoz, hogy ma nem emlegetjük együtt a 3 fő hajtással őket. Lesznek olyanok, amelyek csak „rossz időben, rossz helyen” születtek, lesznek, amelyeknek rengeteg jó tulajdonsága volt, csak éppen ezek közül hiányzott az olcsóság. Vagy éppenséggel olyanok, amelyek még egy laikus számára is teljesen nyilvánvaló, hogy nem sínekre valók. Mielőtt ebbe belevágnánk, röviden ismerkedjünk meg a 3 leghíresebb hajtással, ami azért fontos, mert a könyv témájául szolgáló megoldások legtöbbször ezeknek valamilyen hátrányát igyekeztek kiküszöbölni. Miért nem terjedt el? Miért csak ennyire terjedt el? Ezek a végére kiderülnek, most viszont nézzük, mitől megy a gőzös, mit tud egy dízel – vagy egy villanymozdony!



A gőz, dízel- és villamos hajtás egy-egy, valamilyen okból emlékezetes képviselője: 4000-es sorozatú Union Pacific 4-8-8-4 Big Boy (fent). A csuklós gépek a világ legnagyobb gőzmozdonyai voltak, a „feltankolva” több mint 520 tonna tömegű mozdonyóriások 6200 lóerőt tudtak kifejteni. Balra lent: A MÁV legerősebb, és leggyorsabb dízelmozdonyai, a 3000 lóerős, 18 hengeres motorral felszerelt M63-as dízel-villamos gépek. 1990-ben sajnos selejtezték a 10 darabos szériát megbízhatatlansága miatt. Jobbra lent: VL82-es nyolctengelyes, csuklós orosz villanymozdonyok. A több mint 10 ezer lóerős gépek ereje legendás, ezen felül bírják az akár -60 fokos hideget is!



A gőzmozdonyok

A gőzmozdonyok voltak a vasutak első képviselői, és biztos állíthatjuk, hogy ma is megőrizték dicsfényüket. Nincs olyan technikai vívmány, mely az emberhez annyira közel állna, mint a nagy füstfelhője alatt pöfögő lokomotív. A gőzösöknek a mai napig megmaradtak a barátai, akik nemcsak saját kedvtelésükre, hanem a vasútnosztalgia morál megőrzésének érdekében is közlekedtetnek gőzvontatású járatokat.

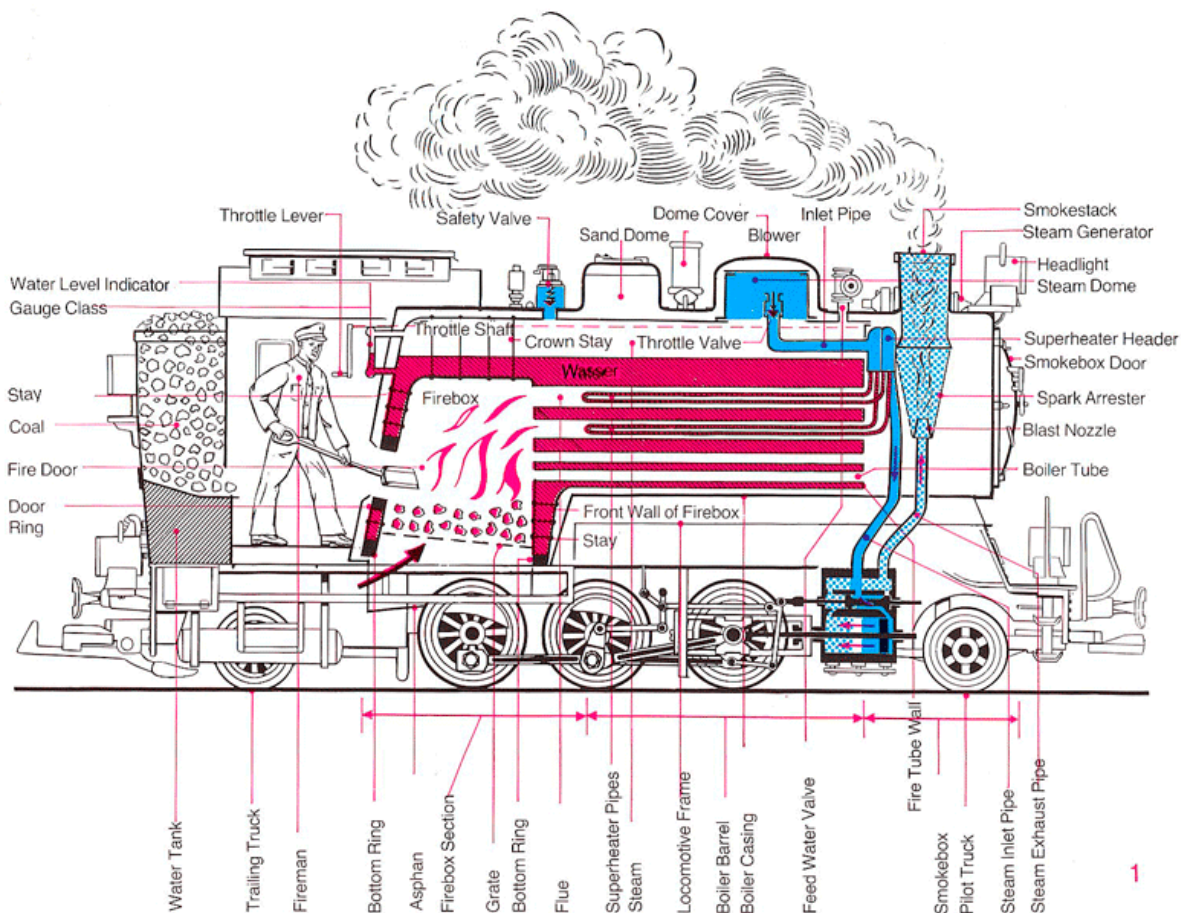
A gőzmozdonyokban az elégetett fűtőanyag (leggyakoribb esetben szén, ritkább esetben fa, pakura, vagy gázolaj) hőjével felforralják a vizet, aminek gőzét összegyűjtve a gőzhengerekbe vezetik, ahol a kerekekkel kényszerkapcsolatban levő dugattyú elmozdításával hozza mozgásba a mozdonyt. A gőzmozdonyoknak egészen a múlt század 30-as éveig nem akadt vetélytársa, amikor aztán a korszerűbb, és gazdaságosabb működésű dízel- és villanymozdonyokkal- illetve motorkocsikkal szemben már nem tudták felvenni a versenyt. Manapság már csak Afrika és Kína elmaradottabb-, illetve szénben gazdag területein találkozhatunk velük, ezeken a helyeken még jó ideig meg is maradnak elsődleges vonóerőnek.



A vasúti átjárót jelző tábla Magyarországon

Egy találó megfogalmazás szerint a gőzmozdony kerekeken gördülő erőmű, hiszen mozgásához szükséges energiát saját maga állítja elő. A mozdony nemcsak saját magát, hanem hozzákapcsolt vagonokat is képes mozgásba hozni. Három alapvető szerkezet eleme a kazán, a gépezet, és a járműszerkezet, vagy felépítmény.

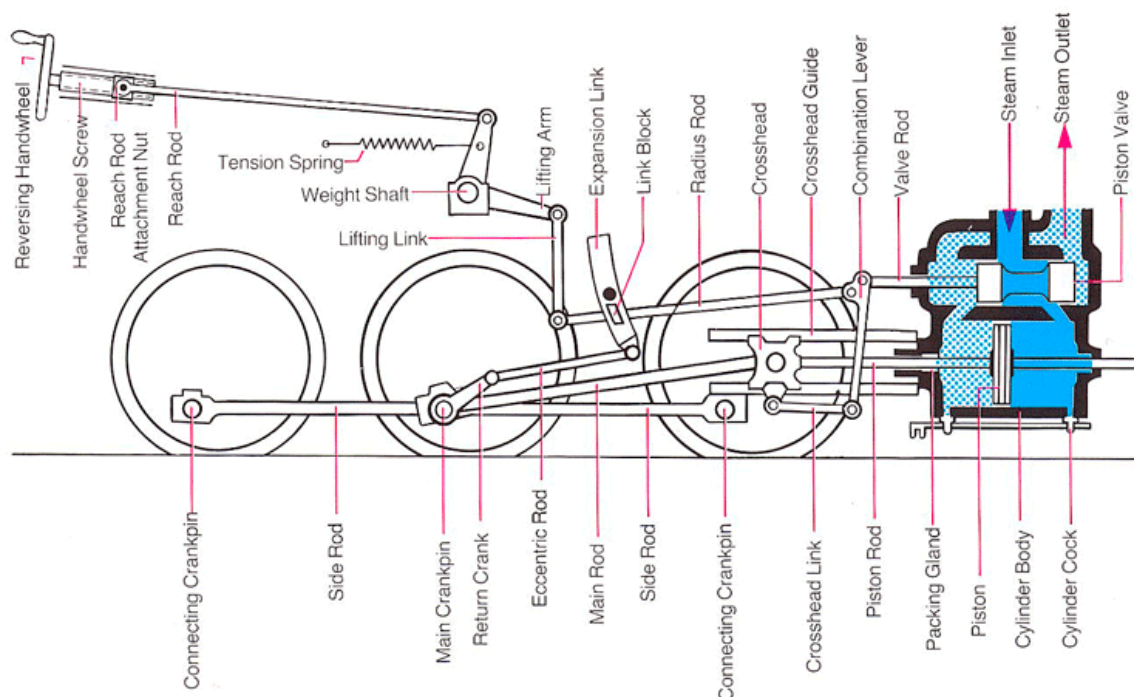
A kazán három részből áll. Az első rész a tűzszekrény, amelynek feladata, hogy a tüzelőanyagban rejlő belső energiát hőenergiává alakítsa. A hőenergia később átalakul a gőz belső energiájává, amit a hengerek mozgatására használnak, térfogati munkavégzésként. A munkavégzés során kialakuló mozgási energia a hajtórendszeren keresztül tevődik a hajtott tengelyekre, ahol forgó mozgási energiává alakul. A forgó mechanikai energia a kerék és a sín között ébredő erő formájában hozza mozgásba a járművet, a gőz a munkavégzésben tehát csak hőhordozó közvetítő közegként van jelen. A füstgázok a hosszkazánban levő tűzcsöveken keresztül áramolva felforralják az őket körülvevő vizet. A jobb hatásfok érdekében a tűzszekrényt is körülveszi a kazánvíz. Ezáltal a tűzszekrény hővesztesége a vizet melegíti, nem a szabadba távozik.



Egy három hajtott tengelyes, túlhevítős gőzmozdony hosszmetzeti rajza

Az égéshez szükséges huzat kialakításában a kéménynek van a legfőbb szerepe. Amikor a kéményből kiáramlanak a füstgázok, és a fáradt gőz, részleges vákuum jelentkezik, ami megfelelő huzatot biztosít.

A gőzmozdony legfontosabb részei közé tartozik a gőzhenger. Az egyenletesebb járás érdekében a mozdonyt általában két gőzhengerrel szerelik fel (vagy legalábbis páros számúval), de akadnak 3 hengeres gőzösök is, amelyeknél a harmadik henger a mozdony középvonalában helyezkedik el. A dugattyút két részre osztja fel, és a felette levő gőzelosztó tolattyú a dugattyú egyik, majd másik felére nyomja a gőzt, melynek során az alternáló mozgást végez. A dugattyút a dugattyúrúd köti össze a mozgást koordináló keresztfejjel, amihez a csatlórudakat csavarozzák. Ez lehetővé teszi, hogy a csatlórudak forgathassák a kerekeket, miközben a dugattyúrúd egyenes vonalú mozgást végez. A hajtott kerekeket a csatlórudakhoz kapcsolt forgattyúk forgatják, és a csatlórudak a többi kapcsolt keréknek is átadják a vonóerőt. A munkaközeg hengerbe történő áramlását a mozdony vezérműve szabályozza. Ezzel történik az irányváltás is úgy, hogy a gőzgép forgásirányát megfordítják. A gőzgép pillanatnyi teljesítménye a vezérmű töltésszabályozójának állásától függ, mely azt határozza meg, hogy a hengertér löketének mekkora hányadánál történjen a gőzbeömlés.



A gőzmozdonyok vezér- és hajtóművének sematikus rajza

A gőzösök halálát a múlt század 30-as éveiben megjelenő dízel- és villanymozdonyok okozták. Ezek hatásfoka eredendően jóval magasabb egy gőzmozdonyénál (lásd Dízelmozdonyok és Villanymozdonyok c. fejezet) ráadásul előkészítésük és kezelésük is sokkal könnyebb és veszélytelenebb. A gőzmozdony ugyanis hatalmas energiapocsékoló, már csak a kéményéből kicsapó vastag fekete füst is elárulja, mekkora energia megy veszendőbe. Az első gőzösök mai szemmel szörnyű, 2-3 %-os termikus hatásfokát az idők során sikerült ugyan növelni, de még a legkorszerűbb, 1960-ban épült, 25 bar kazánnyomású, túlhevítővel, kompaund berendezéssel, és tápvíz-előmelegítővel ellátott gőzmozdonyok esetén sem haladja meg a 12-13 %-ot, ennek megfelelően az eredő hatásfok 6-8 %, de mindenképpen 10 % alatti érték marad. Ez lényegesen rosszabb, mint más vontatási nemeké, de a gőzmozdonyok sorsát az üzemanyaguként használt szén árának emelkedése pecsételte meg. További hátrányuk volt, hogy működésükből kifolyólag – a csatlórudak, hengerek vezérművek alternáló mozgása által okozott visszafogó tömegek miatt – nem voltak képesek nagy sebességeket elérni. A valaha volt leggyorsabb gőzmozdony – egy angol áramvonalas, 2500 lóerős A4-es típusú gép – 202 km/h-t volt képes elérni, ezt a villanymozdonyok már a 30-as években, a dízelek a 70-es években átlépték, de a gőzösök fénykora igazából a II. világháború után véget is ért. Ezek után a vasúttársaságok igyekeztek lecserélni őket, nemcsak a kényelmetlen és a korhoz nem illő üzemeltetés, hanem az abban az időben elterjedő, saját tulajdonú autók megjelenése miatt sem engedhették meg a nagyfogyasztású gőzösök üzemeltetését. A fejlettebb államokban a 70-es, más helyeken a 80-as évek végéig (Magyarországon 1984-ben köz-

lekedett az utolsó gőzmozdony vontatta menetrend szerinti vonat) gyakorlatilag teljesen felhagytak a gőzvontatással.



A MÁV leghíresebb gőzmozdonytípusa; a 424-es. Teljesítménye 1350-1500 LE volt szén- és kazántípustól függően, maximális sebessége 90 km/h

A dízelmozdonyok

Az első, kezdetleges, csatlórudas dízelek az 1900-as évek elején jelentek meg. Ekkor még nem jelentettek különösebb veszélyt az akár 140-160 km/h sebességre képes, 3-4 ezer lóerős gőzösökre. A korai, alacsony fordulatszámú dízelmotorok drágák voltak, a gőzösökhöz képest nagy szakértelmet igényeltek, miközben teljesítményük elmaradt azokétól. Ezeknél a motoroknál a hűtés sem volt kellőképpen megoldva, és a kezdetleges hajtóművek (mechanikus, vagy a pneumatikus, amelyeket a gőzmozdonyokéhoz hasonló hengerek hajtottak csatlórudakon keresztül) megbízhatósága sem volt a legjobb. A dízelmotorok az 1930-as évek végére érték el a versenyképes vasúti vontatáshoz szükséges technikai színvonalat, azóta folyamatosan tökéletesednek. Vasúti alkalmazásban azért előnyösebbek az Otto-motornál, mert nagyobb teljesítményekre képesek, jóval nagyobb forgatónyomatékot és vonóerőt tudnak kifejteni a benzinmotoroknál, továbbá üzemanyaguk, a gázolaj könnyebben előállítható, ezért olcsóbb, és kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkezik (például nem robbanékony). A dízelmotorok elterjedésük során teljesen kiszorították a benzinmotorokat a vasúti vontatásból, ezért a ma alkalmazott belső égésű motoros mozdonyok hajtógépe kizárólag a dízelmotor, és az ez által hajtott járműveket dízelmozdonynak, vagy dízel motorkocsinak nevezzük.

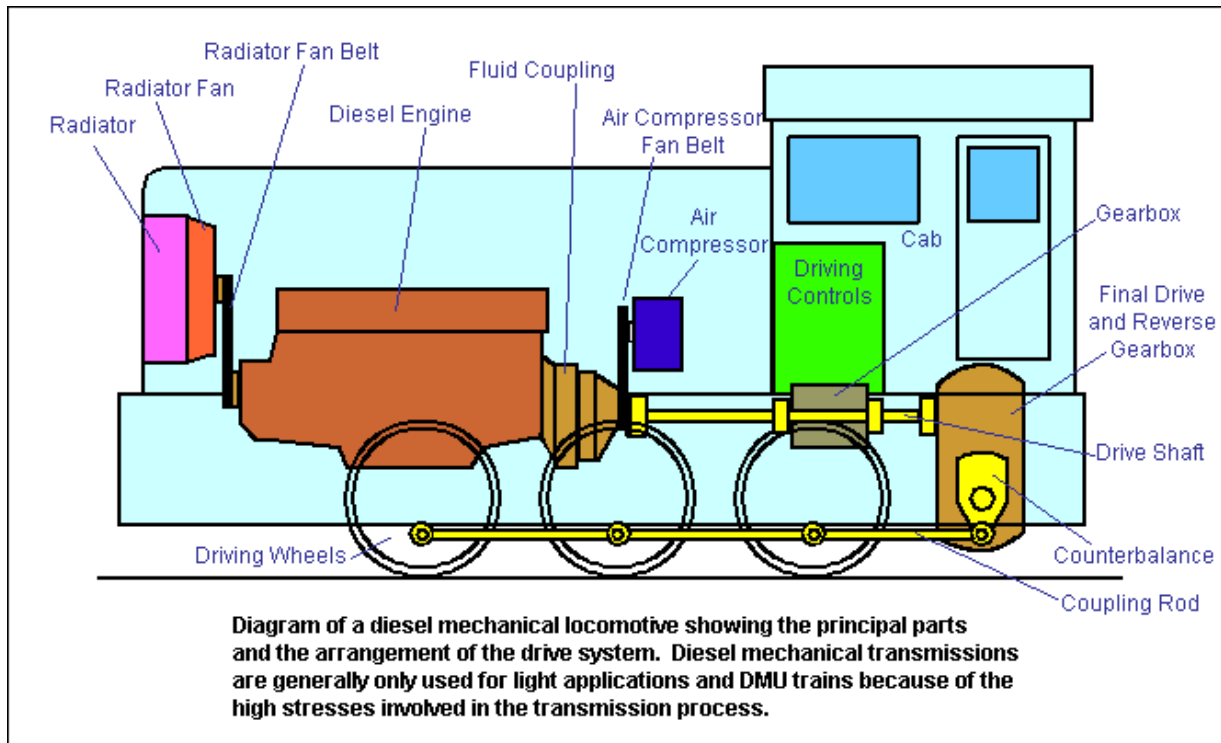


Egy húszhengeres GM-EMD 20-710-G3-as dízelmotor, jelenleg a legerősebb, vasúton használt ilyen egység. Teljesítménye 5000 lóerő, lökettérfogata 232 000 cm³.

A dízelmotor hátránya, hogy drága, gyártása pedig nagy odafigyelést igényel. Elég csak a századmásodperc pontosságot megkövetelő befecskendező rendszerekre gondolnunk, amik ezalatt az idő alatt csupán néhány milliliter üzemanyagot fecskendeznek be, régebben mechanikus, aztán pneumatikus, manapság pedig már elektronikus úton vezérelt szelepvezérművek segítségével. Az öngyulladásos aggregátok nagy hátránya szikragyújtásos társaikkal szemben a jóval kisebb fordulatszám-rugalmasság, ami azt jelenti, hogy csak névleges fordulatszámán, illetve annak közvetlen környezetében tudja leadni legnagyobb nyomatékát. Ezért szükséges a motor, és a hajtott kerékpárok közé egy olyan erőátviteli berendezés beiktatása, ami lehetővé teszi a kerékpárok széles sebességtartományban való meghajtását, anélkül, hogy a dízelmotor fordulatszáma az előírt értéket meghaladná. Ezen felül szükséges egy olyan szerkezeti elem beépítése, aminek segítségével lehetséges a motor és a hajtott kerekek közötti fizikai kapcsolat megszakítása, illetve lökésmentes újraaktiválása, hiszen a dízelmotor terhelés mellett nem indítható. A fejlődés során három, meghajtási elvben alapvetően különböző hajtásrendszer alakult ki: a mechanikus, hidraulikus, és a villamos.

A legegyszerűbb meghajtás az autóknál is alkalmazott mechanikus erőátvitel, aminél a dízelmotor közvetítő közeg nélkül hajtja a kerékpárokat, a köztük levő kapcsolat csupán forgó mozgást végző mechanikai elemek összességéből, a fogaskerék áttételből áll, amit a hajtómű egy szerkezetével, a tengelykapcsolóval oldani lehet. Fontos eleme még az irányváltó, amely a dízelmotor főtengelyének változatlan forgásiránya mellett lehetővé teszi a mozdony mindkét irányban való haladását. Ennél a meghajtásnál a dízelmotor főtengelye és a hajtott kerékpárok fordulatszáma között az alapjáratot leszámítva mindig az aktív fogaskerék-áttétel áttételi aránya által meghatározott egyenes arányosság van. A mechanikus erőátvitel hatalmas előnye a többi erőátvitellel szemben a szinte tökéletes, 100 %-os hatásfok – a

veszteségek csupán a fogaskerekek súrlódásából, és a kardántengely csavarodásából adódnak – a legrosszabb rendszerek estén is meghaladja a 95 %-ot. Hátránya azonban – és ez egy elég jelentős hátrány – a fogaskerék áttételek közötti váltáskor fellépő nyomaték- és vonóerő kimaradás, ami – függően a váltó minőségétől – 1-4 másodpercig is eltarthat, ezalatt pedig a mozdony mozgási energiájának rosszabb esetben a fele is elveszhet. Ezért ezt a hajtásnemet csak kis teljesítményű (500 LE alatti) tolatómozdonyokon, illetve dízel motorkocsikon alkalmazzák, ott is inkább valami más (leginkább hidraulikus) hajtásrendszerrel vegyítve.



Egy dízel-mechanikus erőátvitelű mozdony sematikus rajza

A hidraulikus erőátvitelnél a dízelmotor energiáját közvetítő közeg, hidraulikaolaj segítségével származtatjuk át a hajtott tengelyekre. Aszerint, hogy az olaj nyomási, vagy mozgási energiáját hasznosítjuk, megkülönböztetünk hidrosztatikus, és hidrodinamikus hajtóművet.

A hidrosztatikus hajtóművekben a munkafolyadék nyomási energiáját a dízelmotor által hajtott dugattyús szivattyú növeli meg, és ezt csővezetékeken át szállítja a hajtott kerékpárokat fogaskerék áttételen keresztül hajtó dugattyús olajmotorok hengereibe. Magyarországon a dízelmozdonyok főhajtóműveként nem alkalmaztak hidrosztatikus erőátvitelt, de szomszédos országainkban, például Ausztriában találunk erre példát a dízel tolatómozdonyok között. A hidrosztatikus erőátvitelre jellemző, hogy hatásfoka konvergál a 100 %-hoz, főhajtóműként való elterjedését azonban akadályozza a nagy, esetenként 250-350 bar üzemi nyomás, ami a gyártási, és fenntartási technológiában igen magas követelményeket támaszt. Ezt a hajtásnemet előszeretettel alkalmazzák különböző segédüzemi berendezések (pl. hűtőventillátorok) meghajtására.

A hidrodinamikus hajtómű a teljesítményt a felgyorsított munkafolyadék segítségével juttatja el a hajtott tengelyekhez. A dízelmotor a hidraulikaolajat az úgynevezett örvényszivattyúban gyorsítja fel, majd a folyadék mozgási energiája a kerékpárokat hajtó turbinában alakul ismét levehető mozgási energiává. Az áramlási veszteségek csökkentésére a szivattyút és turbinát általában közös házban helyezik el, így kialakul eme hajtás két alapvető szerkezeti eleme: a hidrodinamikus tengelykapcsoló és a hidraulikus nyomatékmódosító.

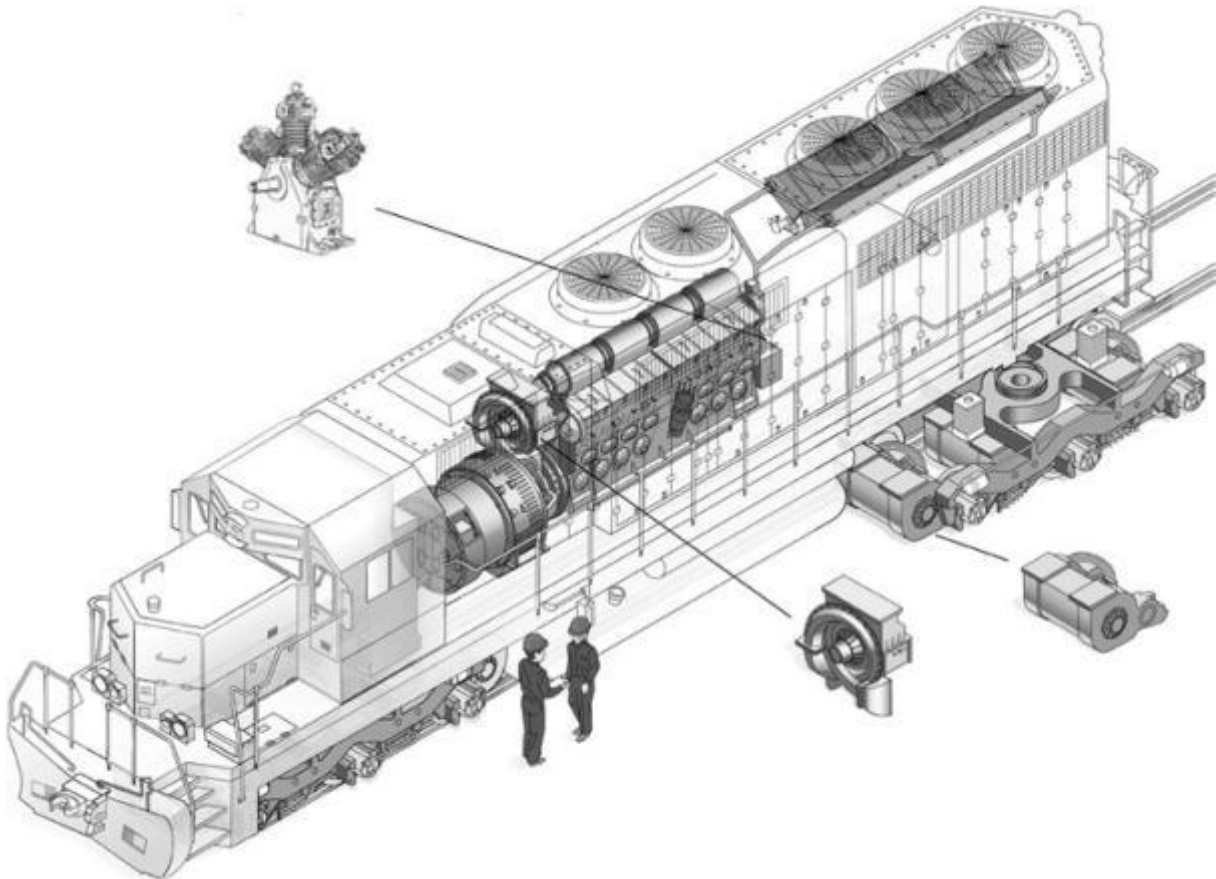


Fent: Egy brit dízel-hidraulikus mozdony metszeti-nézeti ábrája. Jól látszik, ahogy a dízelmotor csatlakozik az örvényszivattyúhoz, amely a forgási energiát a háromtengelyes forgóváz mindhárom tengelyére továbbítja a hajtóművön keresztül (piros) Lent: MÁV M41-es sorozatú dízel-hidrodinamikus meghajtású "Csörgő". A mozdony minden nem villamosított fővonalon teljesít szolgálatot, teljesítménye 1800 LE



A dízelmozdonyoknál alkalmazott harmadik erőátviteli megoldás a villamos erőátvitel. Itt a dízelmotor egy hatalmas generátort forgat, és az így indukálódott villamos áramot a mozdony vontatómotorjai alakítják ismét forgó mechanikai energiává. A vontatómotorok általában fogaskerék áttételeken keresztül hajtják meg a kerekeket. Klasszikus megoldásnak számít, hogy a dízelmotor egy egyenáramú dinamót hajt gyakorlatilag állandó fordulatszámon, ez pedig lehetővé teszi a dízelmotor fordulatszámának hatékony kihasználását. A von-

tatómotorokra kapcsolt teljesítmény és vonóerő a generátor gerjesztőáramának szabályozásától függ. A fődinamó forgórészének áramsűrűsége, és a kommutátorszeletek közötti átütés veszélye, amely az üzemi feszültség növekedésével egyre nagyobb eséllyel áll fenn, gátat szab a maximális átvihető teljesítménynek, ezért a modern, nagyteljesítményű dízel-villamos mozdonyok már másfajta megoldással, váltóáramú generátorral, és háromfázisú aszinkron vontatómotorokkal működnek.



Egy dízel-elektromos mozdony legfontosabb részegységei

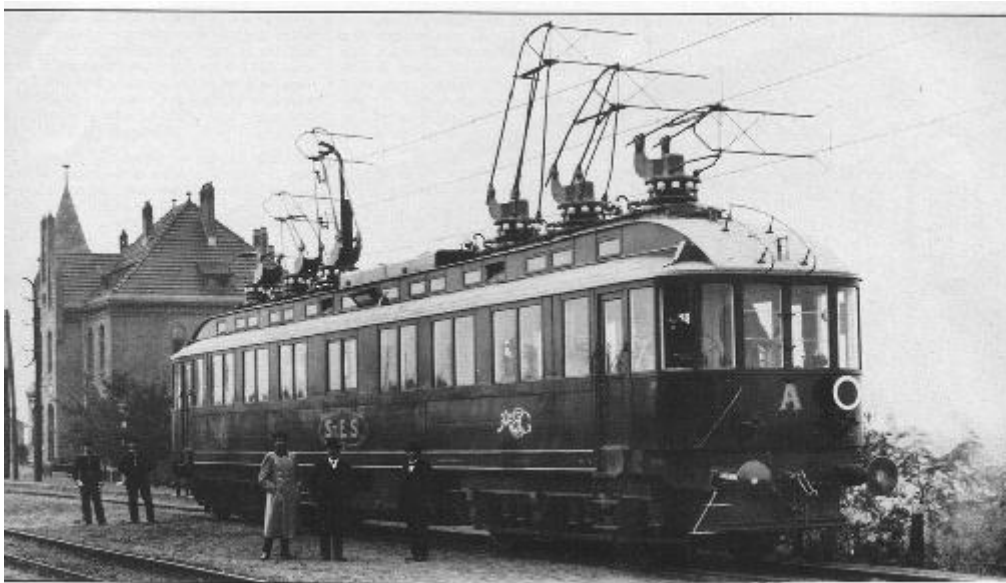
A dízelmozdonyok hatásfokát döntően a dízelmotor határozza meg, aztán a segédüzemi berendezések, továbbá a vonatfűtési berendezés teljesítményigényétől, valamint a hajtómű hatásfokától függően, a dízelmotor eredeti 35-40 %-os hatásfoka 25 % körüli eredő hatásfokot eredményez. A dízelek üzem közben és azon kívül is kevésbé munkaigényesek, mint a gőzösök. Üzemanyagtartályuk két-háromszor akkora hatótávolságot biztosít, mint a gőzmozdonyok a szerkocsija, a napi kiszolgálás pedig csak néhány ellenőrzésből (hűtővíz, olaj, gázolaj) áll. A dízelmozdony tehát kevésbé van helyhez kötve, kisebb mozdonyzín kell, fordítókorongokra pedig egyáltalán nincs szükség.

A villanymozdonyok

A villanymozdonyok feltalálása technikátörténeti értelemben pillanatokkal az első villanymotor megépítése után történt. Az első – mai szemmel megmosolyogtatónan kicsi – villanymozdonyt Siemens építette meg, és mutatta be Berlinben, ahol az utasok egy kis körpályán próbálhatták ki a „nem-füstölő”, mindössze 3 lóerős, egy gyalogos sebességére képes

mozdonyt, amely éppen akkora volt, hogy a vezető elfért rajta.

Ahogy a dízeleknél a hűtés, úgy a villanymozdonyoknál sokáig a megfelelő elektromos hozzáférés kitalálása okozott gondot. A ma egyeduralkodó felsővezetékes-pantográfos megoldás csak a múlt század elején jelent meg, akkoriban ugyanis nem tudták megoldani a megfelelő szigetelést, és a minden hőmérsékleten megfelelő feszítést. Kezdetben az útpályába süllyesztett alsóvezetékes rendszer hódított (a korai városi villamosok is így vételeztek áramot), de népszerűek voltak még a harmadik (és negyedik) áramvezető sínes, illetve a pálya mellett elhelyezett ún. oldalvezetékes megoldások is (a harmadik sínt elszigeteltebb vasútvonalakon – pl. Nagy-Britanniában – a mai napig alkalmazzák).

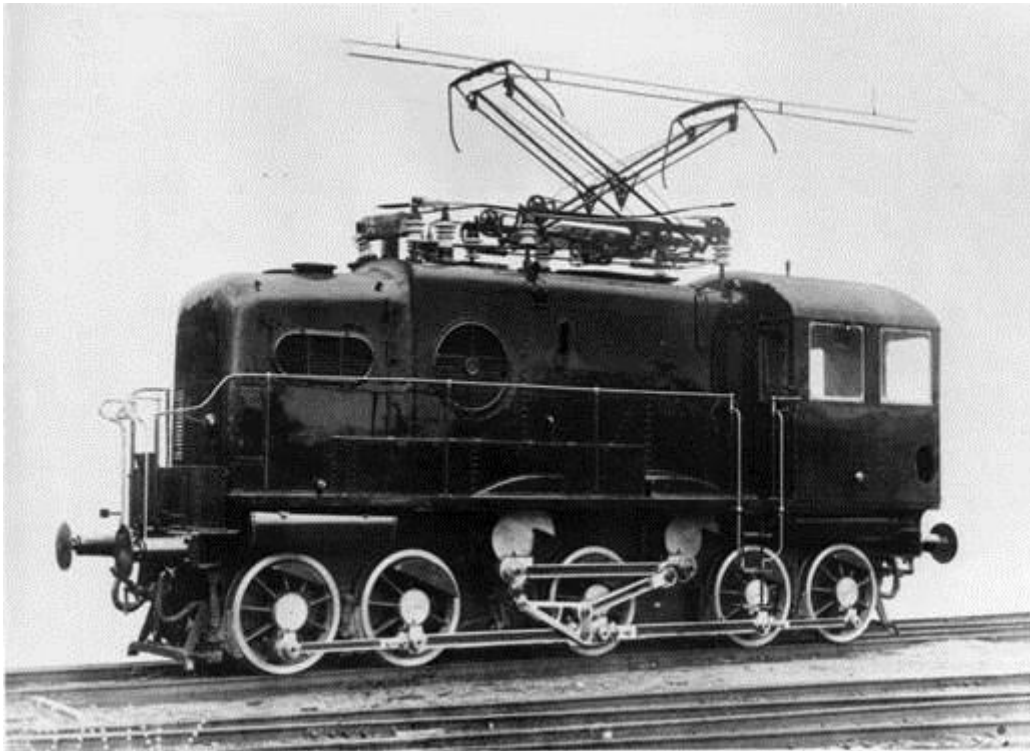


Fent: „Zossen A” kísérleti elektromos motorkocsi 1903-ból. A jármű akkoriban elképzelhetetlen 210 km/h-ra volt képes, ennél nagyobbra csak azért nem, mert képen látható, hármassó oldalvezeték a 6 darab áramszedővel nem bírt volna nagyobb igénybevételt. Egyszerűbb megoldás után kellett nézni. Balra lent: harmadik áramvezető sínes megoldás. Mivel könnyen hozzáférhető, veszélyessége miatt föld feletti vonalakon ritkán használják. Jobbra lent: a manapság gyakorlatilag egyeduralkodó felsővezetékes rendszer a hozzá tartozó félrombusz alakú pantográfal (áramszedővel)



A következő gond a megfelelő áramirányítás volt. Mivel az elektromos áramot csak nagy feszültségen volt gazdaságos „szállítani”, a villanymozdonyok pedig nem üzemelhettek több tízezer voltos feszültségen, a mozdonyra áramátalakítókat kellett szerelni. A 20-as 30-as

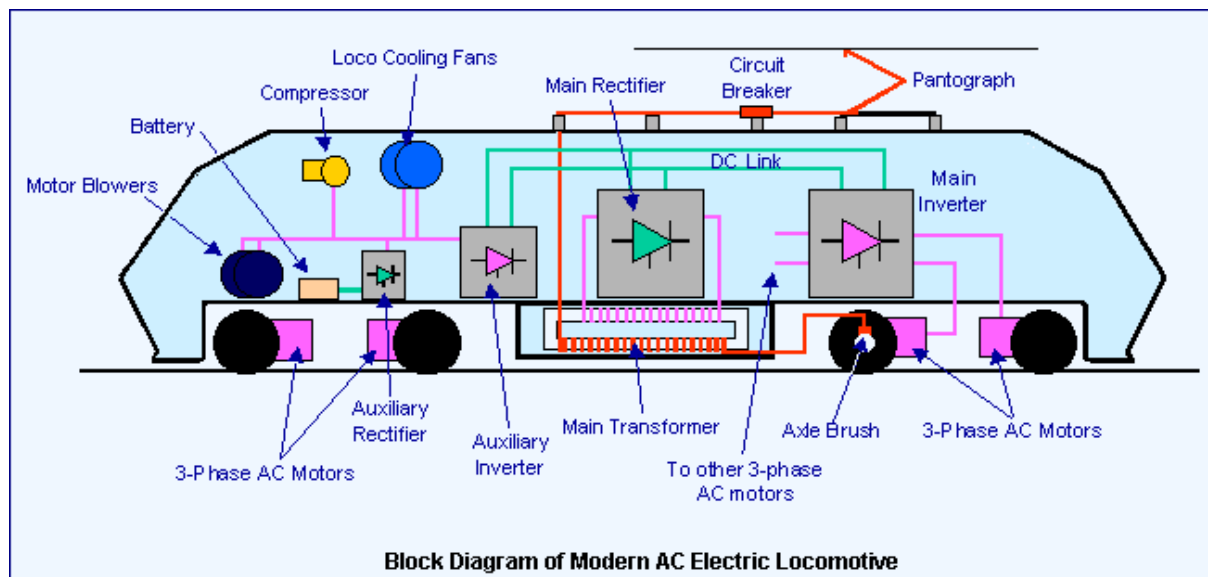
évek kezdetleges mozdonyai a vontatómotorok fordulatszámának változtatását az áramkörbe kapcsolt póluspárok számának változtatásával szabályozták, azonban ez azt eredményezte, hogy a mozdony csak három-négy, előre meghatározott sebességgel volt képes tartósan haladni (a méltán híres Kandó-féle villanymozdonyoknál ezek az értékek 25, 50, 75 és 100 km/h voltak). Ha nem ilyen sebességgel akartunk haladni, az áramkörbe ún. előtétellenállásokat kellett beiktatni, amelyek azonban a szabadba „fűtötték el” az áramot, így a meghajtás hatásfoka alacsony volt.



Kandó-féle mozdony a 20-as évekből

Az 1940-es évek végére már megjelentek azok a szerkezetek, amik képesek voltak a váltakozó áram mozdonyon történő egyenirányítására. Az első egyenirányítók ionikus-, vagy más néven higanygőzös meghajtásúak voltak, és az akkori villanymozdony nagyhatalomban, Franciaországban használták őket először. Mintegy 350 mozdony rendelkezett higanygőzös egyenirányítóval. Hátránya volt azonban, hogy sok segédberendezést igényelt, ezért karbantartási igénye nagy volt, ugyanakkor az egyenirányító elemeken fellépő feszültségesés nagy villamos hatások veszteséget okozott, a berendezés nagy tömegéről már nem is beszélve. Az 1950-es években fejlődésnek indult a félvezető technika, ami azóta is fejlődik. A félvezetők olyan anyagok, amik az áramot csak az egyik irányban engedik át, így egy egyirányú, úgynevezett „hullámos egyenáram”-ot hoznak létre. Félvezetőkből készülnek az olyan egyenirányítók, mint a diódák és az inverterek. A feszültség nagyságát azonban ezekkel se lehet változtatni, így nem szabadultunk meg a kiküszöbölendő fokozatkapcsolótól, ami az egyenirányítóba táplált áram feszültségét szabályozza. A korszerű félvezető-technika lehetővé tette a mozdonyokba a vezérelt egyenirányítók, az úgynevezett tirisztorok beépítését. A tirisztor annyiban különbözik a normál egyenirányítóktól, hogy az áramot csak akkor engedi át, hogy-

ha erre az ún. gyújtóimpulzussal parancsot adunk. Az egyenirányítót tápláló áram mivel szinuszos lefolyású, ezért a periódus azon időpontjának függvényében, amikor a gyújtóimpulzus megengedi az áram áthaladását, az egyenáramú oldalon levehető feszültség kisebb, vagy nagyobb lesz, tehát vezérelhető.



Egy modern váltóáramú villanymozdony főegységei. A képen látható gép a letranszformált, egyenirányított áramot inverteres áramátalakítókkal változtatja meg a 3 fázisú vontatómotorok meghajtásához megfelelő, változtatható feszültségű és frekvenciájú árammá. Gyakorlatilag az összes modern villanymozdony, motorkocsi és villamos így működik manapság

A szakemberek egybehangzó véleménye szerint a jövő a villanymozdonyoké. Míg a fenti két hajtás megegyezik abban, hogy a gépezetet a mozdony maga hordozza, a villanymozdonyok esetében ezt a szerepet a kiépített felsővezeték tölti be, ahonnan a mozdony elméletileg korlátlan teljesítményt vehet le. Hatásfokuk sokkal kedvezőbb, bár az igazságos összehasonlítás érdekében itt figyelembe kell venni az erőmű, és a villamos felsővezeték rendszer hatásfokát, aztán kell csak a villanymozdonyét hozzászámolni. Itt a leggyengébb láncszem kétségkívül az erőmű, amelynek hatásfoka ritkán több, mint 40 %, aztán a villamos vezetékhálózat 90, majd a villanymozdony 85 % körüli hatásfokát figyelembe véve a villanymozdony eredő hatásfoka a dízelmozdonyénál csak pár százalékkal nagyobb, kb. 30-31 % marad. Meg kell említeni, hogy az erőmű hatásfoka a hasonló tüzelőanyagokkal üzemelő gőzmozdonyénál sokkal jobb, mert míg az erőművek gyengébb minőségű tüzelőanyaggal is üzemelnek, a gőzmozdonyokhoz nem árt, ha jó minőségű, 22 000-29 000 kJ/kg fűtőértékű szén áll rendelkezésre.

Napjaink legmodernebb vonatai szinte kivétel nélkül villamos meghajtásúak. A legerősebb mozdonyok teljesítménye kisebb erőművekével vetekszik, a leggyorsabb villanyvonatok pedig könnyedén felveszik a versenyt a sugárhajtású repülőgépekkel is, miközben üzemeltetésük azoknál olcsóbb.

A hagyományos meghajtások után most pedig nézzük, milyen különleges megoldásokkal próbálkoztak a mérnökök a vasút több mint 200 éves történelme során!

Felhasznált források és képek

<http://www.polyvore.com>

<http://www.tieto.com>

<http://www.clker.com>

<http://www.freewebs.com>

<http://www.biprojekt.hu>

<http://4rail.net>

<http://www.dunapart.eu>

<http://www.allaboutlgb.com>

<http://mek.oszk.hu>

<http://logout.hu>

<http://www.tugboatenthusiastsociety.org>

<http://www.railway-technical.com>

<http://www.illustrationartgallery.com>

<http://www-personal.umich.edu>

<http://evangelicalinthewilderness.blogspot.hu>

<http://maxfaqs.wordpress.com>

<http://www.ecorails.eu>

II. FEJEZET

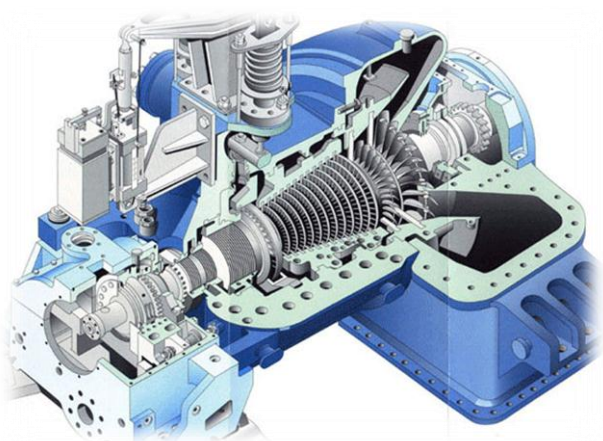
GŐZTURBINÁS MOZDONYOK



A GŐZTURBINÁK

Bevezető: Valóban lejárt a gőzgépek ideje?

Ugyan a gőzmozdonyok- és hajók eltűnésével könnyen gondolhatnánk azt, hogy a gőznek, mint energiahordozónak a korszaka is véget ért, jóllehet nagyot tévednénk. Ugyan a klasszikus dugattyús gőzgép ma már tényleg leginkább csak múzeumokban található meg, a gőz energiáját mozgási energiává alakító másik erőgép – a gőzturbina – nélkül elég nehéz lenne az életünk. A fosszilis tüzelőanyaggal üzemelő erőművek nagy részében, illetve az atomerőművekben ugyanis a mai napig ilyen turbinák, illetve a velük összekapcsolt generátorok (ún. turbógenerátorok) segítségével állítanak elő elektromos energiát. A fűtőerőművekben pedig miután a nagynyomású gőz a turbinán áthalad, és entalpiájának egy része villamos energiává alakul, egy hőcserélőbe vezetik, ahol hőjét leadva magánlakások százazezreinek a fűtését oldják meg ilyen módon (távfűtés).

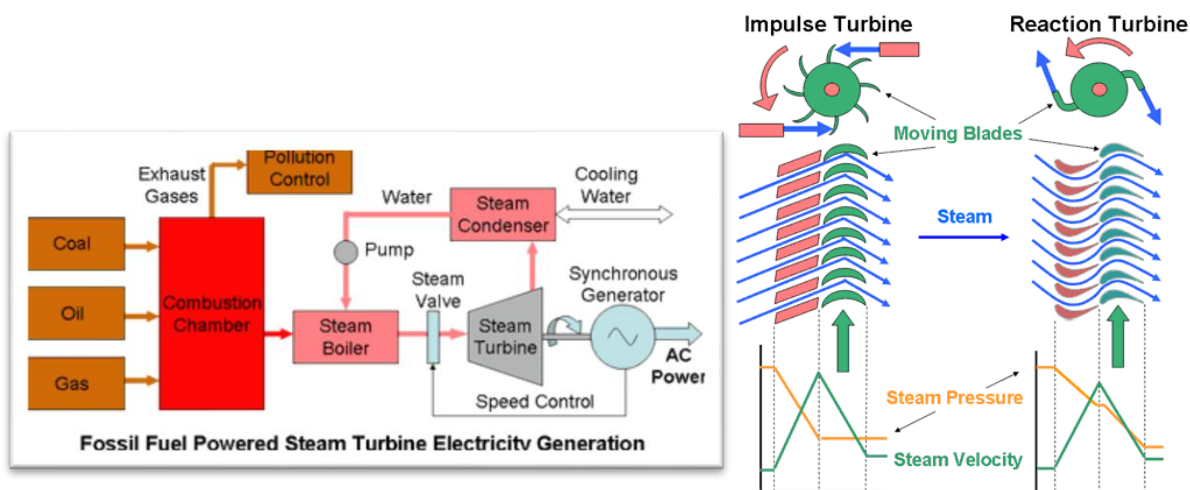


Modern gőzturbina

A gőzturbinák működése

A gőzturbinák működésének alapelve egyszerűbb más hőerőgépekénél. A kazánban keletkezett gőzt egy fúvókával nagymértékben felgyorsítják (sokszor szuperszonikus sebességre), majd rávezetik a megfelelően hajlított turbinalapátokra, aminek nekiütközve meghajtják azokat, közben kismértékben vesztenek hőmérsékletükből, és nyomásukból. Ezután a gőzáramot a turbina állórészével kapcsolatban levő fix lapátsorral rávezetik a következő lapátsorra, ahol a folyamat megismétlődik. Egy modern gőzturbinának nagyon sok futólapátsora (fokozata) van, ezek sokszor nem is férnek el egy házban, ezért két-három külön házból is állhat egy turbina. Mivel a gőz hőmérséklete és nyomása minden fokozaton csökken, az utolsó fokozatokban már szinte légköri hőmérsékletű, és a környezetinél jóval kisebb nyomású gőz végzi a munkát, tehát ezekben a fokozatokban erős vákuum uralkodik. Ahogy a gőz sebessége csökken, ahhoz hogy a fordulatszámot fenntartsuk, egyre nagyobb átmérőjű fokozatokra van szükség, emiatt a turbina utolsó fokozatai sokkal nagyobbak, mint az első, nagynyomású fokozatok. Mivel a hőleadás itt több fokozatban történik, a gőzturbinák hatásfoka sokkal jobb a Watt-féle gőzgépekénél, ahol egy ütemben zajlik a munkavégzés. Alapvetően kétféle gőzturbinát különböztetünk meg: az akciós, és a reakciós turbinákat.

Előbbinél maga a gőz ereje hajtja meg a lapátokat, utóbbinál a turbinából nagy sebességgel távozó gőz reakcióereje hozza mozgásba őket. Léteznek azonban a két megoldást egyesítő turbinák is (pl. Bánki-turbina). A gőzturbinák fejlesztése a mai napig tart, a gazdaságosság jegyében a közelmúltban születtek már az ideális Carnot-körfolyamat hatásfokát megközelítő (60% eredő hatásfok feletti) turbinák, az erő jegyében pedig nem egy, 1000 MW-ot meghaladó teljesítményű egység dolgozik ma a világon.



Fent: A gőzturbina sematikus működése és jelleggörbéi. Lent: Alstom AraBelle, a világ legnagyobb teljesítményű gőzturbinája. Az egység atomerőművekben dolgozik, teljesítménye nem kevesebb, mint 1800 MW (2,5 millió lóerő), gőznyomása 300 bar. 3 darab ilyen turbina egész Magyarországot el tudná látni árammal csúcsidőben!



Fel nem ismert találmány – a gőzturbinák története

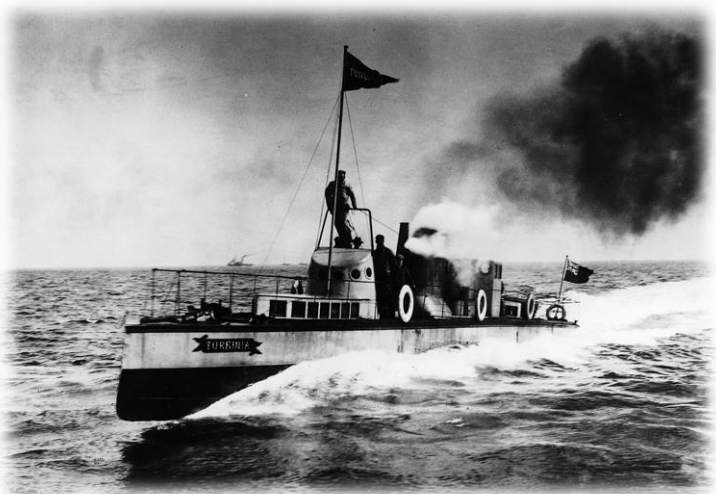
A gőzturbina alapelveit véletlenül már az ókori görög tudós, Hérón is felfedezte, aki egy gömbbe vezette a gőzt, amely aztán a gömb felületének két szemben levő pontjából kiálló, a végén derékszögben meghajlított csövén keresztül távozva forgásba hozta azt. Művét „aeolipil”-nek nevezte el. Ki tudja milyen fejlesztési lehetőségei lehettek volna évezredekkel ezelőtt egy ilyen találmánynak, de sajnos a labdára mind kortársai, mind maga Hérón is csak játékként tekintett, és tudomásunk szerint semmilyen komoly alkalmazási köre nem lett később sem.



Hérón gőzlabdájának modellje

Az első modern gőzturbinát az angol mérnök Charles A. Parsons tervezte 1884-ben, majd három évvel később meg is építette azt. Akkor éltek fénykorukat a gőzgépek, a fejlett világ minden részén használatban voltak, kihívójuk, vetélytársuk nemigen akadt. Parsons első turbinája még stabilgépként üzemelt, és mindössze 1,2 % eredő hatásfokkal, illetve 7,5 kW-os vagyis kb. 11 LE-s teljesítménnyel büszkélkedhetett, ami lényegesen elmaradt az akkori dugattyús gőzgépektől mindkét tekintetben. Parsons gyors fejlődéssel néhány év alatt elérte az 1 MW-os határt, és turbógenerátorok készítésébe is belekezdett. Egy későbbi turbina már új yachtjának – melyet Turbinia-nak nevezett el – meghajtására szolgált, korának leggyorsabb hajójává téve azt. A szintén Parsons által először megfigyelt kavitációs jelenségek elkerülése végett 1 helyett háromtengelyű, 2100 lóerős turbina minden egyes tengelye 3 hajócsavart hajtott meg, így a hajó összesen 9 csavarja az akkor hihetetlen 34,5 csomós, vagyis 65 km/h-s maximális sebességet garantált a Turbiniának! A feltaláló többek között a brit haditengerészetnél is kopogtatott találmányával, többször is visszautasítást kapva. Elhatározta, hogy ilyen könnyen nem szabadulnak meg tőle, és mindenképp bemutatja, mit tud új találmánya. A „bemutatóra” nem kisebb ünnepséget választott, mint a Viktória királynő uralkodásának gyémánt (60.) évfordulójára szervezett haditengerészeti díszszemlét, amin részt vettek a brit hajóállomány leggyorsabb darabjai is. Parsons egy vakmerő mutatvánnyal beju-

tott a felvonuló hajók közé, és a királynő szeme láttára versenyezni kezdett velük, nem kis meglepetést okozva azzal, hogy kis hajóját még az akkor leggyorsabb, 27 csomó sebességre képes gyorsnaszádok sem voltak képesek utolérni! A kísérlete sikerrel járt, mert a haditengerészetnél elhatározták, hogy a jövőben minden új hajójuk gőzturbina-meghajtású lesz, és a XX. század egyik leghíresebb hadihajója, az 1906-ban vízre bocsátott HMS Dreadnought, illetve a kor összes jelentős hadi- és kereskedelmi hajója is részben, vagy teljesen gőzturbinát használt főgépként.



Charles Algernon Parsons (balra) és a „Turbina” gőzturbinás hajó (jobbra). Alul: SS United States, a legnagyobb teljesítményű gőzturbinás személyszállító hajó, és egyben a világ leggyorsabb óceánjárója. A csaknem 250 ezer LE összteljesítményű gőzturbinák hihetetlen 42 csomós, azaz csaknem 80 km/h-s sebességre tudták felgyorsítani, amivel a mai napig tartja a leggyorsabb Atlanti átkelés rekordját!



GŐZTURBINÁK A VASÚTON

Mivel a hajókban hamar bizonyítottak, a mérnökök kísérletezni kezdtek a gőzturbinák vasúti vontatásban való alkalmazásával. Ennek oka az volt, hogy a gőzmozdonyok ekkorra (1910-es, 20-as, 30-as évek) már kezdték elérni teljesítőképességük határát, további fejlesztésük csak nagy befektetéssel valósulhatott volna meg, ami viszont megdobta volna ezeknek a gépeknek az árát, a használhatóságuk viszont nem nőtt volna akkora mértékben. Másrészt pedig ekkor jött el az idő, amikor az addig gyerekcipőben járó, valamint fejletlennek tartott dízel- és villamos mozdonyok teljesítményükkel és sebességükkel már fenyegetni kezdték a gőzmozdonyokat. A gőzösök helyzetét tovább rontotta a szén árának rohamos emelkedése, és a dízelek üzemanyagaként használt gázolaj olcsósága. Ezen mérnökök a gőzturbina bevezetésével próbáltak új életet lehelni az akkor már szinte teljesen kiaknázottnak hitt gőzhajtásba. A gőzturbinák több okból is alkalmasnak tűntek erre: hatásfokuk már ebben az időben elérte, illetve meghaladta a klasszikus gőzgépekét, de működési elvükből kifolyólag több jelentős előnyt is élveztek még ezek a gépek.

A gőzturbinák előnyei

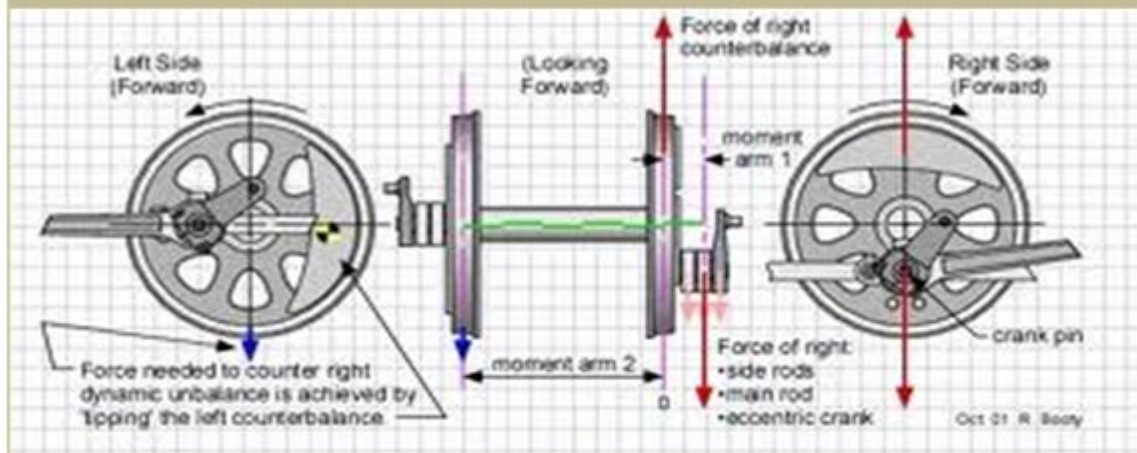
Először is a gőzgépek teljesítmény- és nyomatékleadása az alternáló mozgások miatt nem egyenletes, hanem szinuszos lefolyású, aminek következtében a gőzmozdony hajtott kerekei hajlamosak voltak a hirtelen megcsúszásra, vagy akár a menet közbeni folyamatos kipörögésre (ezt csak úgy lehetett észlelni, hogy a mozdonyvezető tudta, hány kéménycsuhogás hallatszott egy bizonyos távon, mondjuk két telefonpózna között. Ha ezen a távon több csuhogást számolt, akkor biztos lehetett benne, hogy a mozdony kerekei éppen kipörögnek), a megcsúszó kerekek pedig nagyon káros rezgéseket keltettek a gépezetben, illetve nagymértékben rongálták a vasúti pályát is.



6-4-4-6 S1 duplex (két gőzgépes, merev) gőzmozdony. A kevés hajtott tengely miatt túl kicsit volt a tapadási tömege, ezért a kerekei menet közben folyamatosan kipörögtek. Az amúgy nagyon szép mozdony ezért bukásnak bizonyult, mert gyakorlatilag szétverte maga alatt a pályát.

A „Hammer blow”:

A gőzgépek ugyanezen tulajdonságára vezethető vissza a gőzmozdonyok egyik legnagyobb hátránya, az angolban csak „hammer blow”-nak (durva fordításban kb. kalapácsütés) nevezett jelenség. Ez az alternáló mozgást végző részek (dugattyúk, forgattyúk, vezérlők) holtponton való átlendülésekor jelentkező, hatalmas visszafogó erőként. Ennek ellensúlyozására vezették be a kerekeken levő több száz kg tömegű ellensúlyokat, azonban ezek is csak csökkenteni tudták valamennyire a káros jelenséget, megszüntetni nem, viszont újabb problémát jelentettek az ezen súlyok által keltett horizontális erők, amelyek a kalapáláshoz hasonló igénybevételnek tették ki a pályát.



A "Hammer-blow" jelenség dinamikai magyarázata

A hátrányok

Az igazsághoz hozzátartoznak azonban a hátrányok is, amelyek más területeken nem, de a vasúti alkalmazásban sajnos végleg megakadályozták a hajtás elterjedését. A gőzturbinák ugyanis jó hatásfokkal üzemelnek nagy fordulaton, viszont alacsony fordulatszámon csak igen gazdaságtalanul tudnak működni, márpedig a mozdonyokkal sokszor kell lassan haladni. Nem lehet őket két irányban sem forgatni, ami miatt vagy egy külön hátrameneti turbinát kell alkalmazni, vagy le kell mondani a mozdony hátrafelé való közlekedtetéséről. A gőzturbinák csak akkor tudtak megfelelő teljesítményt leadni, ha nagy huzatot biztosítottak nekik, ez pedig a kor mérnökeinek komoly gondot jelentett. Ezenfelül probléma volt a turbinák gőzgépekhez viszonyított sérülékenysége, ami a gyártási és karbantartási technológiában nagyon magas követelményeket támasztott. A dízelek üzemanyagának relatíve kis ára már csak újabb szög volt ennek az egzotikus meghajtásnak a koporsójában, a vasúttársaságok rendhagyó megoldásokkal szembeni bizalmatlanságáról, és a vontatási nem fénykorával egybeeső II. világháború anyagihiányos időszakainak mozdonygyártásra gyakorolt hatásairól már nem is szólva.

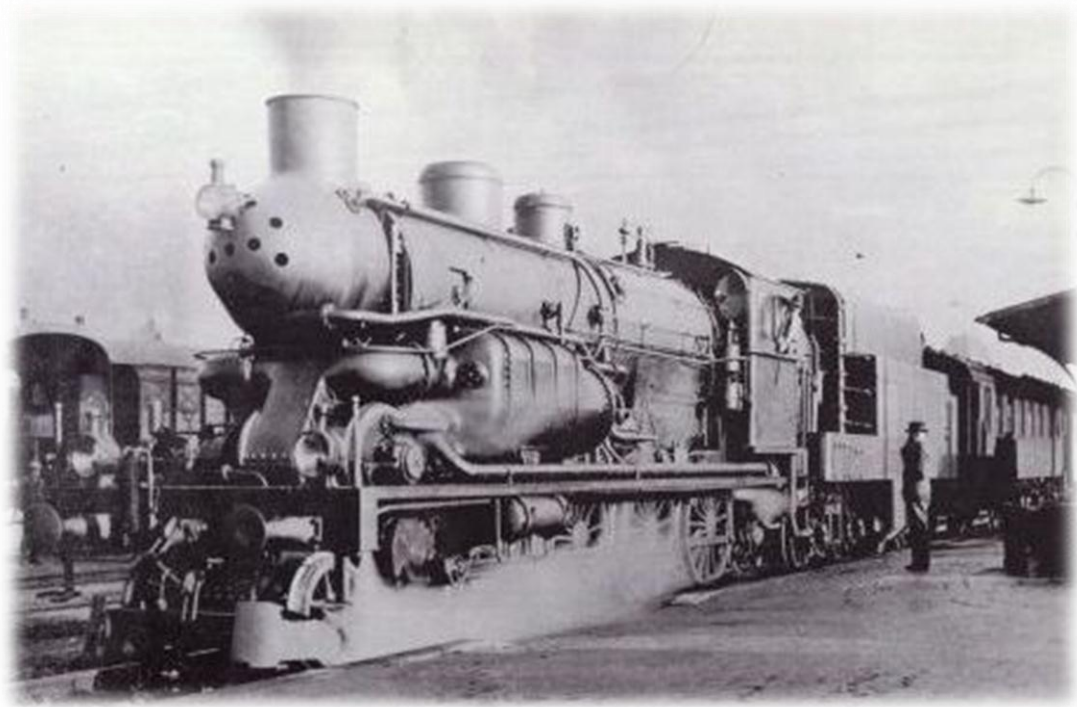
Kerekas hőerőművek – a gőzturbinás mozdonyok altípusai

A gőzturbinás mozdonyok története során két alapvető altípusa alakult ki ennek a hajtásnak: az egyik a mechanikus, melynél a gőzturbina közvetlen fogaskerék-kapcsolatban van a tengellyel, a másik pedig a villamos, ahol az erőművekhez hasonlóan egy generátort forgat, és az ez által termelt árammal táplálják meg a mozdony tengelyeit fogaskerekeken keresztül, vagy közvetlenül meghajtó vontatómotorokat. Nézzünk meg pár mozdonytípust mindkét fajtából!

FOGASKEREKES HAJTÓMŰVŰ GŐZTURBINÁS MOZDONYOK

Svájc mozdonyai

Az egyik legkorábbi gőzturbinás mozdonyt a svájci Zoelly cég készítette 1919-ben. Ez egy 4-6-0 tengelyelrendezésű mozdony volt, amely gőzkondenzátorral is rendelkezett. Érdekessége volt, hogy a tűztéri huzat fenntartásához nem a kéményben, hanem a tűzszekrényben volt elhelyezve a ventilátor. Azért alkalmazták ezt a megoldást, mert a kéményventilátorok a korrozív füstgázoknak kitéve hamar elrozsósodtak, illetve a pernye miatt hajlamosak voltak az elakadásra. A tűztérventilátoroktól ezen problémák megszűnését várták. Ugyan a fenti hátrányt sikerült kiküszöbölni, de egyben új nehézségekkel kellett szembenézniük: a ventilátor miatt a tűztérben a légkörinél nagyobb nyomás uralkodott, ezért a tűztérajtó kinyitása után azonnal kicsaptak a lángok, ezzel nagy veszélynek kitéve a mozdony személyzetet. Ezt a problémát nem sikerült megoldani, ezért egy idő után visszatértek a normál huzatképző módszerhez.



A svájci Zoelly-gyártmányú gőzturbinás mozdony

A gőzturbinások története Svédországban

Fredrik Ljungström, egy svéd közlekedésmérnök több sikeres gőzturbinás mozdonyt is épített, és a gőzturbinák fejlődésének egyik legnagyobb úttörője is volt. Az elsőt 1921-ben készítette el, azonban ez a mozdony a korábbi hagyományos gőzmozdonyokhoz képest elég furcsa kinézetű volt. A gőzturbina a mozdony szerkocsija alatt elhelyezett három tengelyt hajtotta meg, míg a kazán illetve a vezetőállás (tehát maga a mozdony) alatt csak futókerekek voltak. Ugyan nagy teljesítményre volt képes, de mivel a hajtott kerekek felett nem volt elég nagy tömeg a megfelelő tapadás elérésére, nem lehetett teljes mértékben kihasználni a vonóerejét.



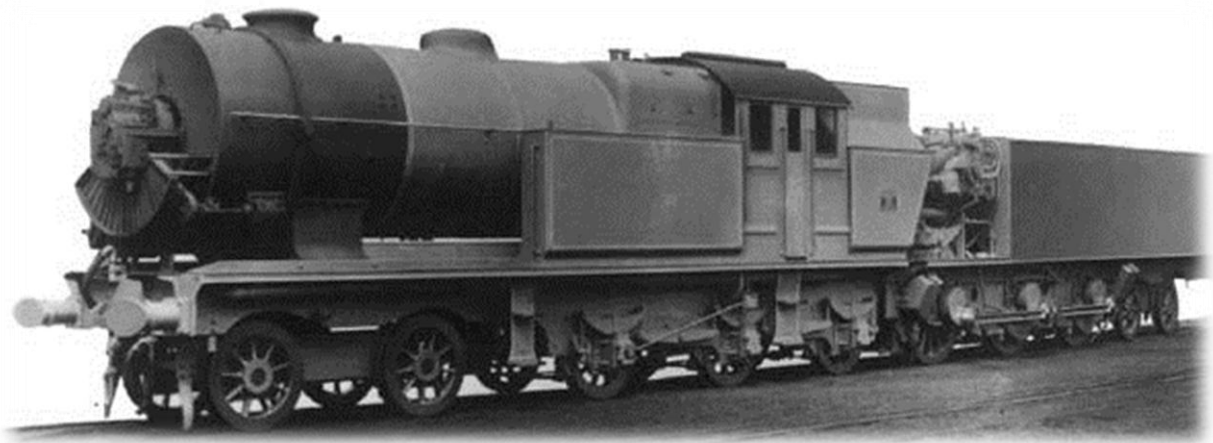
Ljungström első, 1800 LE-s gőzturbinása 1921-ből (fent) és a NoHAB-nál készült, ma is működőképes példány (lent)



Ljungström következő mozdonya egy 2-8-0 tengelyelrendezésű, tehát 4 hajtott tengelyű, kondenzátor nélküli gép volt. 1930 és 1936 között készültek a sorozat tagjai a svéd NoHAB-gyárban, ahol a magyarországi M61-es mozdonyokat is gyártották. Kondenzátort bonyolultsága miatt nem építettek a mozdonyba, amelynek hajtott kerekeit a gőzmozdonyoknál teljesen szokatlan kardántengelyes hajtással forgatta a gőzturbina. Ebből a típusból

mindössze 3 darab készült, amellyel néhány öregebb gőzöst váltottak ki. A mozdonyok egészen az 50-es évekig, az általuk kiszolgált vonal villamosításáig üzemben maradtak. A 3-ból kettőt meg is őriztek, egy pedig még üzemképes is, Göteborg-ban vannak kiállítva.

Ljungström mozdonyépítési sémáját – miszerint a hajtott kerekek a szerkocsi alatt vannak elhelyezve – később a brit Beyer-Peacock mozdonygyár is átvette, amikor a gőzturbinás hajtással kísérletezett. Az eredmény kiábrándító volt a rossz tapadás, valamint a kazán kedvezőtlen hatásfoka miatt. Egy másik mozdonygyár is megpróbálkozott ezzel az elrendezéssel, immár turbóelektromos kivitelben, de hajtóműgondok miatt a kísérletek itt is abba-maradtak.

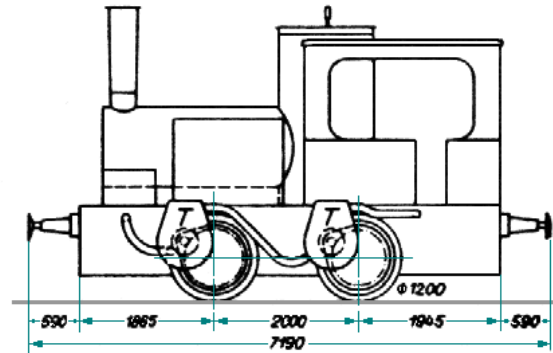
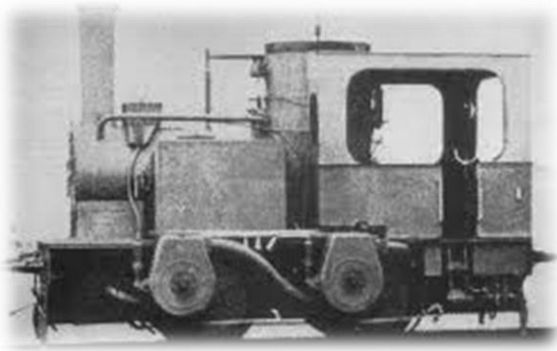


A Beyer-Ljungström gőzturbinás mozdonyai



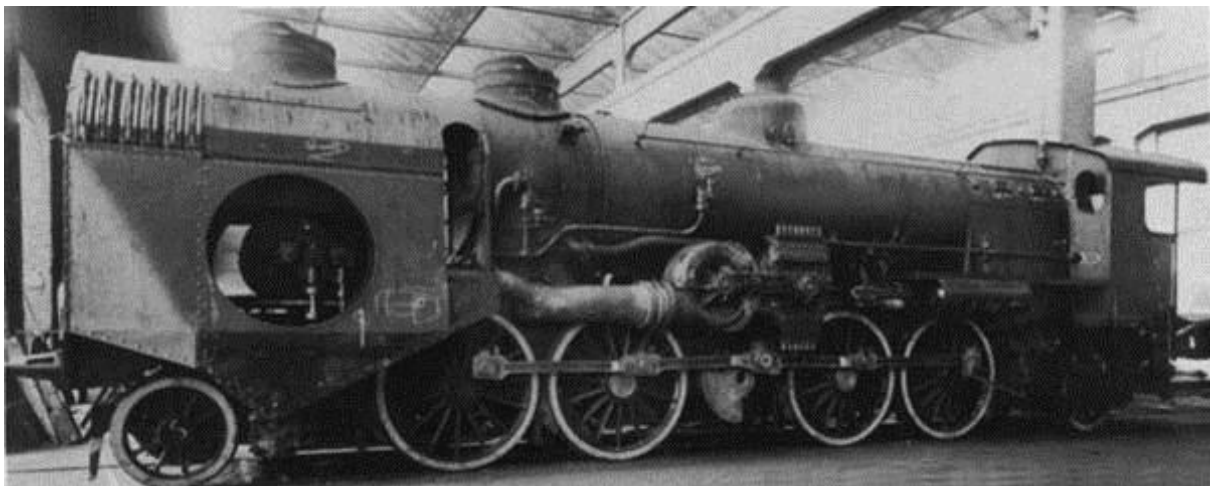
Rövid, dicstelen karrier Olaszországban

Olaszországban több sikertelen próbát is végeztek gőzturbinás mozdonyokkal. Giuseppe Belluzzo olasz mérnök vezette a munkálatokat, melynek első állomásaként egy 4 kerekű, minden kerekét külön gőzturbinával meghajtó (tehát merev tengely nélküli) mozdony készült el. A gőz mind a négy turbinán keresztülhaladt a következő sorrendben: jobb első, jobb hátsó, bal hátsó, bal első. A turbinákat a képen is látható hajlékony cső kötötte össze. A hátrafelé való haladást egy gőzsugár-fordítóval próbálták megoldani, oly módon, hogy a turbinalapátoknak volt egy fordított állásszögű szakasza, amelyre csak hátramenetben nyomatták a gőzt. Mivel a gőzturbinák csak egy irányba képesek forogni, ez sikertelennek bizonyult, és maga a furcsa kinézetű mozdony is hamar feledésbe merült.



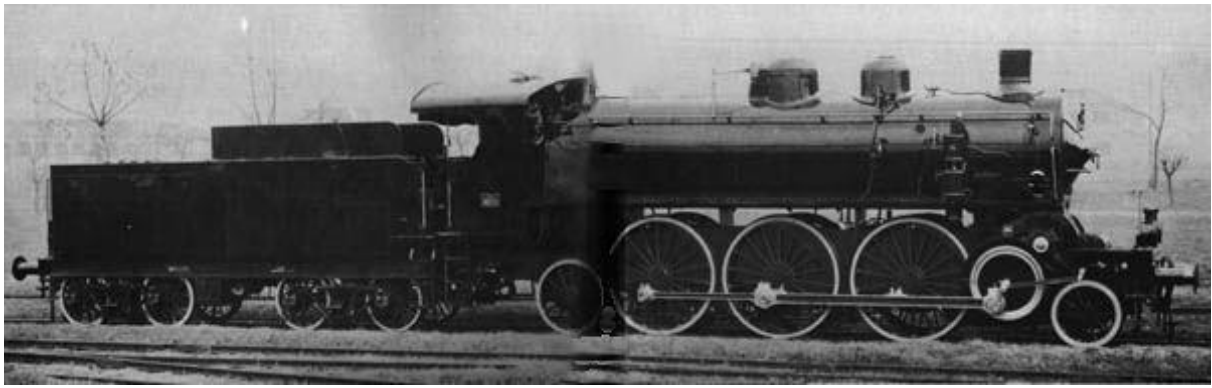
Belluzzo kísérleti gőzturbinása

Belluzzo következő alkotása 1931-ben lett kész a Breda gyárban. Négy hajtott tengelyét 4 turbina mozgatta, melyek kompaund üzemben működtek, tehát az első turbinából kiáramló, még munkavégző képességgel rendelkező gőzt a másodikba táplálták, és így tovább. Sajnos ez a mozdony sem váltotta be a hozzáfűzött reményeket, normál vasútvonalon nem is jártak vele.



A Breda gyárban elkészült gőzturbinás mozdony

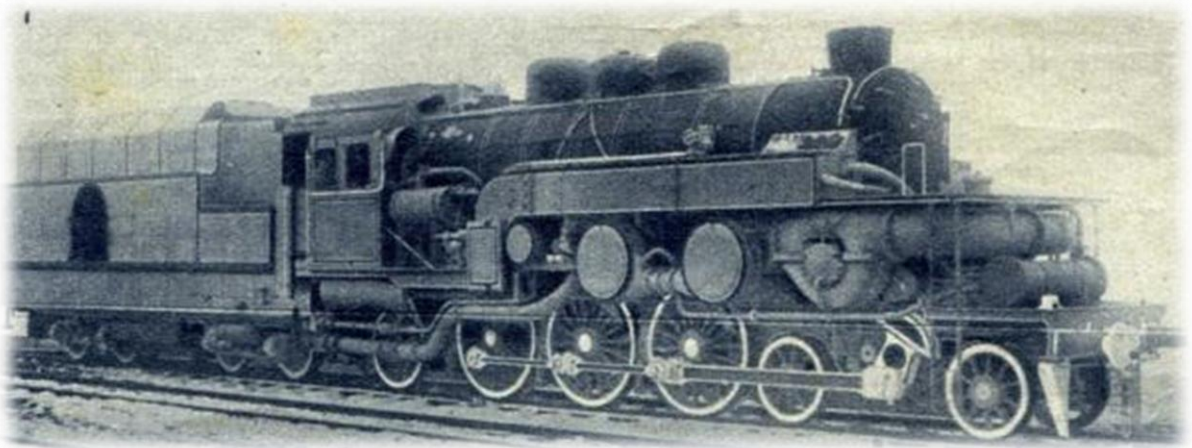
Az Olasz Államvasutak (FS) ezek után még egy utolsó próbát tett a gőzturbinás hajtás hazai sikeressé tételére, 1933-ban. Egy hagyományos, 2-6-2 elrendezésű gőzmozdonyt alakítottak át turbinameghajtásra, és egy utat tettek meg vele Firenze-Pistoia között. A gépről további feljegyzés nem maradt fenn, valószínűleg a nem kielégítő eredmények miatt szétszerelték, vagy visszaalakították. Olaszország szénszegénysége egyébként sem kedvezett a gőzturbinás hajtás elterjedésének, így ebben az országban az ezirányú kutatások a II. világháború előtt abba is maradtak, és inkább a modernebb villamos vontatás kiépítésére törekedtek, később nem kis sikereket elérve.



Az olaszok utolsó próbálkozása

Birodalmi gőzturbinások - Németország

Németországban előrehaladott kísérletek zajlottak a gőzturbina vasúti alkalmazására. Az első sikeres konstrukciót a Krupp-Zoelly mozdonygyárban építették meg, és 1928-ban állították szolgálatba. A mozdony kondenzátorral is fel volt szerelve, aminek köszönhetően javult a hatásfok, illetve a lecsapódott vizet újra fel lehetett használni. A huzatot a kéménybe épített ventilátorral javították. Sajnos a mozdonyt 1940-ben egy bombatámadás megsemmisítette, és sajnos már nem volt értelme újjáépíteni.



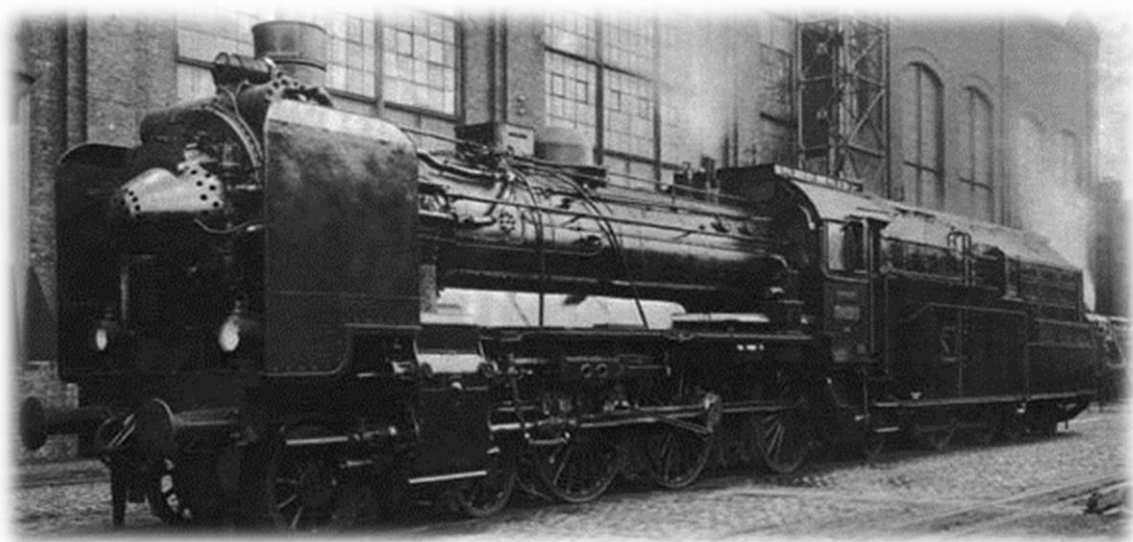
A Krupp-Zoelly német mozdonya

A Maffei mozdonygyárban hasonló építésű elvű lokomotív készült el, 1929-ben. Ugyan nagynyomású kazánja elvileg nagyobb teljesítmény leadására is képessé tette volna, amint az a 60 000 km hosszú tesztutak során kiderült, hatásfoka alatta maradt a Krupp-Zoelly mozdonyénak. Fejlesztésre nem került sor, mert sajnos ugyanaz a végzet jutott ennek is, mint vetélytársának; 1943-ban tűzérési támadás áldozata lett, és selejtezése mellett döntöttek. Kazánját 1961-ig oktatási célokra tovább használták.

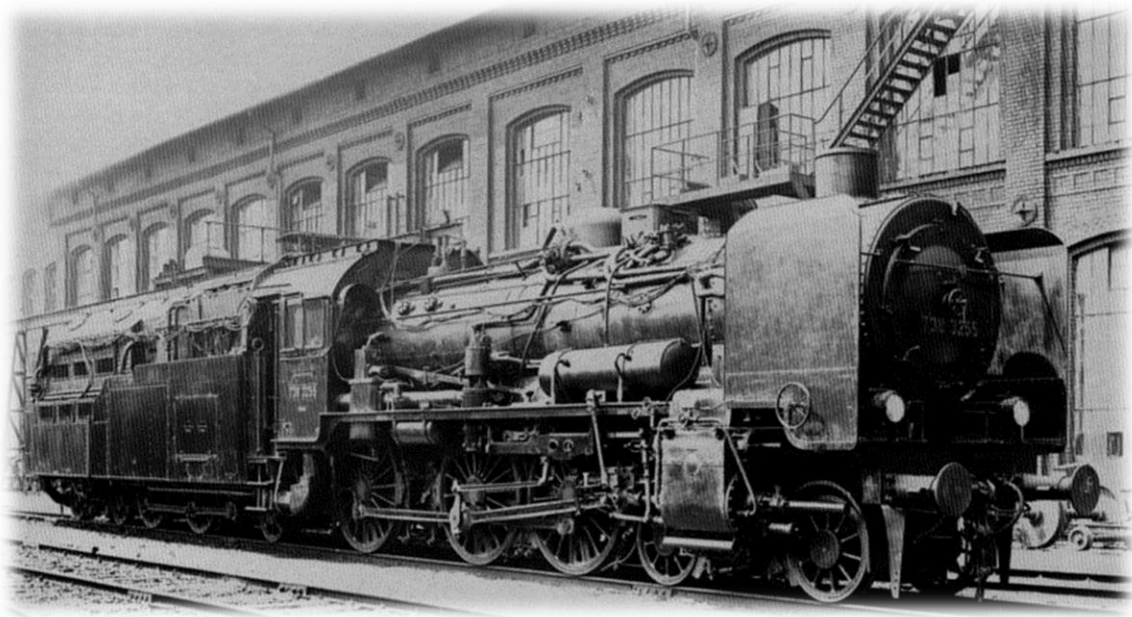


A Maffei-gőzturbinás

Még az amúgy is kuriózumnak számító gőzturbinás mozdonyok között is szokatlan volt az 1927-ben a Henschel-nél elkészült hibrid konstrukció. Az alapja egy DRG 38-as sorozatú, 4-6-0 tengelyrendezésű gőzös volt, de magát a mozdonyt csak kismértékben alakították át, és eredeti, dugattyús gőzgépes működését is megtartotta. A nagy változást a szerkocsi jelentette, ebbe építették be a két darab (egy nagy teljesítményű előremeneti, és egy hátra-meneti segéd) alacsony nyomású gőzturbinát, melyek az öttengelyes vagon harmadik és negyedik tengelyét hajtották meg. A mozdony főgépe a dugattyús gőzgép maradt, a gőzturbinákat a hengerekből kilépő fáradt gőz hajtotta, hatásfokukat gőzkondenzátorokkal növelték. Az eredeti mozdony kéménye nem tudott a gőzturбина működéséhez kellően nagy huzatot biztosítani, ezért egy villamos működtetésű ventilátort helyeztek el benne, ennek ellenére maga a konstrukció nem hozta a várt eredményeket. 1937-ben a gőzöst visszaalakították, a gőzturbinás szerkocsit pedig selejtezték és szétvágták.



A Henschel gőzturbinás szerkocsijú mozdonya kéményventilátorral (fent) és anélkül (túloldalt fent)



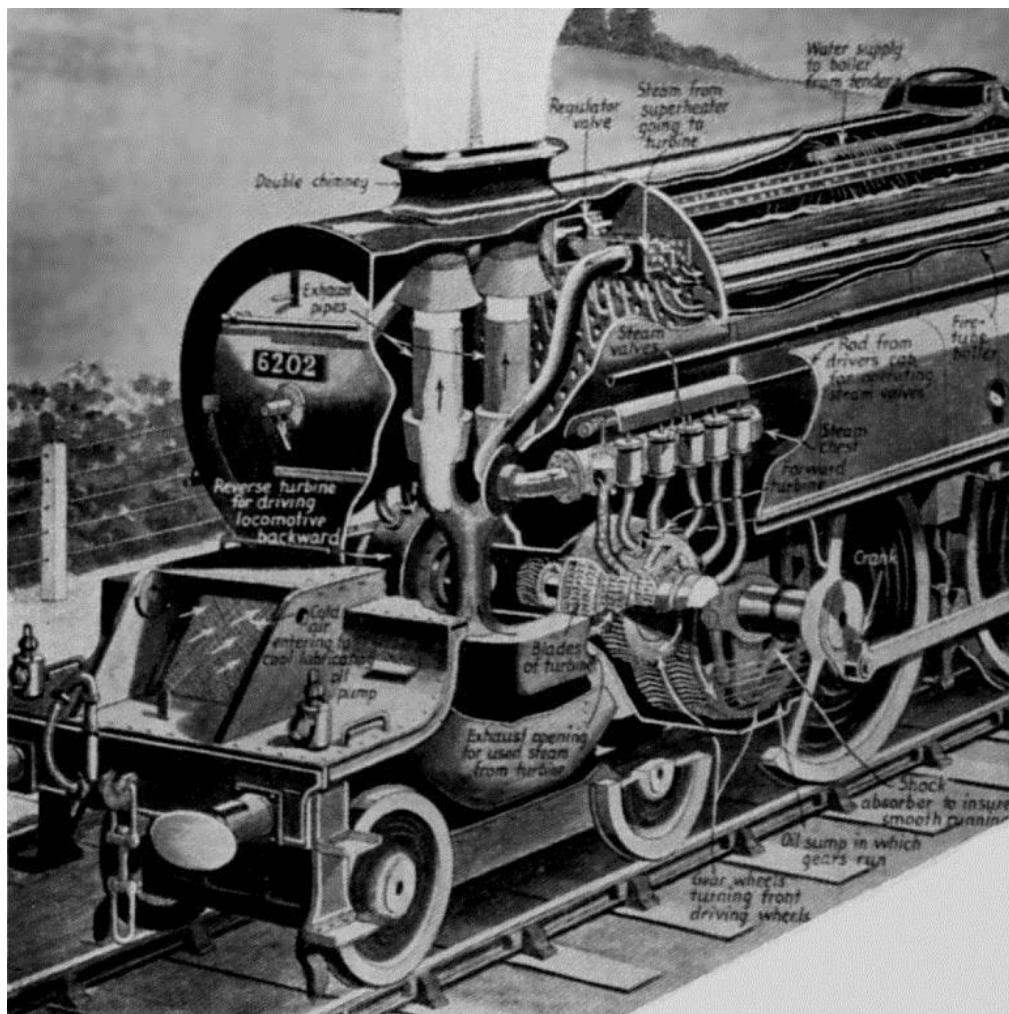
Viszonylagos siker: Anglia

A sok kudarc ellenére más országokban tovább próbálkoztak ezen hajtás hátrányainak kiküszöbölésével. Angliában az egyik első ilyen típust egy 1910-ben elkészült, gőzturbina-elektromos mozdonyból építették át fogaskerekes hajtóművűre, mivel az akkor még kiforratlan villanymotorok nagyon rossz üzemkészségűek voltak. A Reid-Ramsay gőzturbinás gép meghajtó-rendszere az eltérő visszaemlékezések miatt nem egészen világos, hogy nézett ki. Egyes források szerint minkét hajtó forgóvázban egy-egy turbina kapott helyett, hátrameneti fogaskerekekkel, más dokumentációk forgóvázanként kettő turbináról írnak (egy előre, egy hátra). Az előremenetet biztosító gépek 500-, a hátramenetiek 350 LE teljesítményűek voltak, a mozdony végsebessége előremenetben – turbinák maximális, 8000-es fordulatszámánál – 95 km/h volt. A gőzturbina és a hajtott kerekek közötti óriási fordulatszám-szakadékokat kettős redukciójú erőátviteli rendszerrel küzdötték le. A gépet léghűtéses kondenzátorral látták el, amelyet szükség esetén ékszíjjal hajtott ventilátor is hűteni tudott (ez a ventilátor úgy volt elhelyezve, hogy egyben a kéményhuzatot is javította). A mechanikus hajtóművel 1926 ősze és 1927 tavasza között Skóciában végeztek menetpróbákat, melynek során a mozdony személyzetet lenyűgözte a teljesen vibrációmentes járás, és a nagy sebességnél kis fogyasztás. Ez azonban nem számított, mert a próbák során gyakorlatilag a hajtás minden elemével voltak gondok: a kondenzátor szivattyúi folyamatosan elromlottak, a dupla sebességváltó tönkrement, és a gőzturbina lapátjai is megsérültek. Ezek miatt szóba sem jöhetett egy esetleges menetrendi üzem. A próbautak után a gép soha többé nem üzemelt, szétvágására viszont csak 1940-ben került sor.

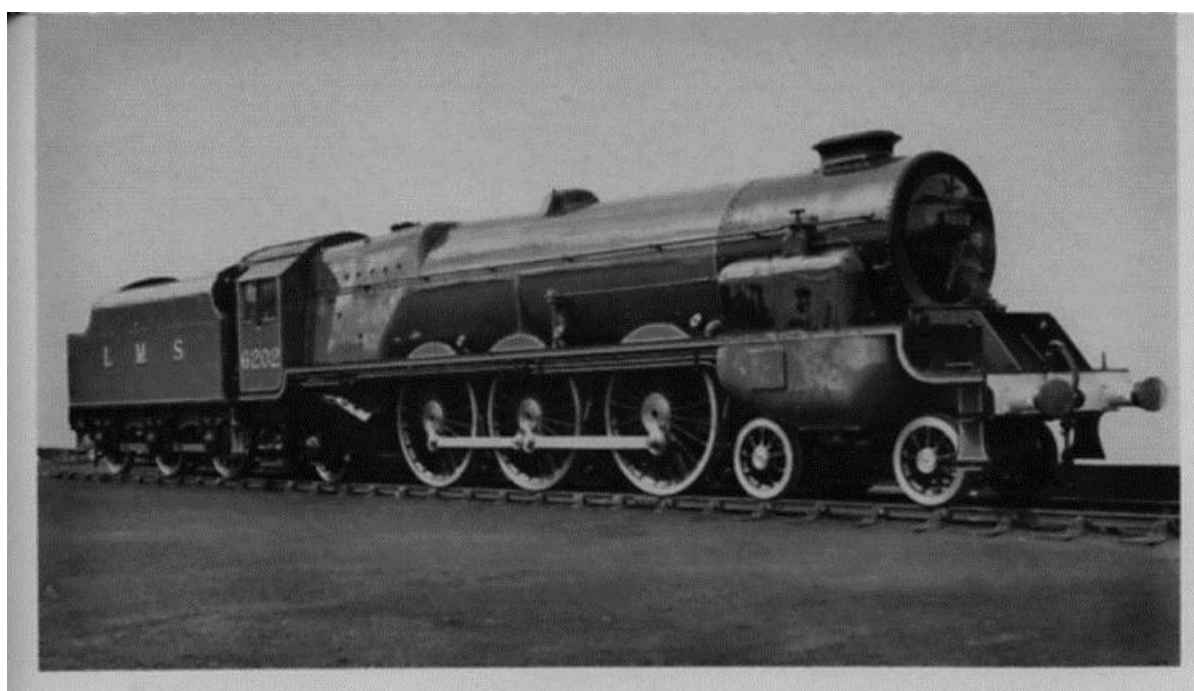


Rossz minőségű kép a villamosról fogaskerekesre átalakított Reid-MacLeod rendszerű gőzturbinás mozdonyról (1927)

Nagy-Britanniában 1935-ben készült el az egyik legsikeresebb gőzturбина-meghajtású konstrukció, az LMS Turbomotive. Készítői okultak más tervezők hibáiból, miközben a legjobban sikerült megoldásokat sikerült beépíteniük ebbe a mozdonyba. Az alapkonstrukciót egy 4-6-2 tengelyelrendezésű, „Princess Royal” nevű nagyteljesítményű gőzös adta. Gőzkondenzátort nem építettek be, ami ugyan rontotta kicsit a hatásfokot és a teljesítményt, de így nem kellett a kéménybe extra huzatot biztosító ventilátorokat beépíteni, amik a leggyakoribb hibaforrások voltak ennek a hajtásnak. A kazánnyomás 17 bar volt, és a turbinának 14 kPa-os (0,14 bar) huzat kellett a megfelelő működéshez, amit az eredeti mozdony fűvócsövei is biztosítani tudtak. A mozdonynak még így is jobb termikus hatásfoka volt, mint kortárs gőzmozdonyainak, és a svéd Ljungström újítását átvéve a gőzfogyasztás is lényegesen csökkent. A gőzturbinában 1 darab nagy helyett 6 kis gőzfűvó volt, melyeket egyenként lehetett ki-be kapcsolni a terhelés függvényében. Korábban az egy nagyot mindig le kellett fojtani, ha kis sebességgel akartak haladni, ami hatalmas veszteségeket jelentett. A 18 fokozatú előremeneti egység 2400 LE-s teljesítményt adott le 7060-as percnkénti fordulatszámra. Ennél a fordulatonál a mozdony éppen 100 km/h sebességgel haladt. A mozdonytömeg 6 tonnával, 112-ről 106 tonnára csökkent az átalakítás során. 11 évnyi szolgálati idő után, mely a legnehezebb teher- és személyvonatok továbbítását is magába foglalta, a gőzturбина tönkrement, és már nem javították meg. 1946-ban a mozdonyt visszaalakították dugattyús meghajtásúra, 1952-ben pedig megkapta a „Princess Anne” nevet, de ezután már csak rövid ideig szolgált. 1952. október 8-án érintett volt a brit vasúttörténet legsúlyosabb katasztrófájában, a Harrow-Wealdstone balesetben, amely során 3 vonat ütközött össze, és 112 ember lelte halálát (lásd a keretes írást). A felismerhetetlenségig összeroncsolódott gépet már nem építették újjá.



Az LMS Turbomotive gőzturbinás mozdony meghajtórendszere



A Harrow-Wealdstone tömegszerencsétlenség

Az LMS Turbomotive szörnyű végét jelentő Harrow-Wealdstone baleset volt a legsúlyosabb békebeli-, és a második legszörnyűbb esemény az egész brit vasút történetében (az első az 1915-ös Quintinshill-i katonai vonatszerencsétlenség volt, amelyben 230 ember veszítette életét). 1952. október 8-án reggel 7:31-kor a londoni Euston pályaudvartól 18 km-re levő Harrow-Wealdstone megállóhelyen álló személyvonatba hátulról, mintegy 80-90 km/h-s sebességgel rohant bele a Skóciából, Perth városából érkező hálónonat. Az ütközés során a kétvágányú szakaszt teljesen elzárták a siklott vagonok roncsai. Pár másodperccel később a szemből érkező – az LMS Turbomotive-ből épített Princess Anne gőzös által vontatott – gyorsvonat szintén 80 km/h sebességgel rohant neki a roncsoknak. A mozdony lerepült a sínekről és letarolta a peront, a szanaszét szálló vagonok ledöntötték az állomás gyaloghídját is. A balesetben elszabaduló erőket jól jellemzi, hogy a 13 vagonból álló középső vonat kb. 2 vagon hosszúságúra nyomódott össze, az utolsó 4 favázas kocsi pedig teljesen megsemmisült, gyakorlatilag csak pozdorja maradt belőlük. A dupla balesetben 74 utas, 34 fő személyzet, és 4 állomási alkalmazott lelte halálát, és további 340-en sérültek meg. A roncsok eltakarítása egy hétig tartott. A három, balesetben résztvevő gőzmozdonyból 2 – köztük a szóban forgó „Princess Anne” – menthetetlen volt, a középső – az állomáson álló – szerelvény mozdonyát (City of Glasgow) később újjáépítették. A tragédia hatalmas sokként érte a háborúból éppen csak éledező brit vasutakat, de egy pozitív hozadéka is volt. Igaz, hogy sajnos ennek a szörnyűségnek – és az 5 évvel későbbi, 90 áldozatot követelő Lewisham-i balesetnek – kellett megtörténnie, hogy az illetékeseket meggyőzze az új vonatbefolyásoló rendszer szükségességéről, amely automatikusan behúzza a fékeket sebességtúllépés, vagy jelzőmeghaladás esetén (a Perth-ből jövő vonat vezetője ugyanis figyelmen kívül hagyott egy vörös jelzést).



A baleset

USA – legnagyobb, leghosszabb, legerősebb

Rövid, de a fogaskerekes gőzturbina-meghajtás történetében annál emlékezetesebb fejezet volt az amerikai. Itt a II. világháború után az akkor fejlődésnek induló dízelvontatás vetélytársának szánták a gőzturbinás lokomotívokat, mivel ezekhez a meglévő állomány átalakításával is hozzá lehetett jutni, és a rendelkezésre álló üzemanyagkészletekkel is üzemelni tudtak. Az első amerikai gőzturbinás mozdony a Pennsylvania-i vasutaknál szolgált 1944 szeptemberétől, és ebben a műfajban a leghatalmasabb volt. A szerkocsival együtt 37 méter hosszú, S2-esnek nevezett gépnél csak a Union Pacific csuklós Mallet-gőzösei, a 4-6-6-4 „Challenger”-ek (38 m) és a 4-8-8-4 „Big Boy”-ok (40,5 m) voltak hosszabbak, azonban teljesítményük valamivel elmaradt e mozdony akkoriban a vasúti vontatásban hihetetlennek számító 6900 LE-s (!!!) teljesítményétől, amivel egyébként ez a gép volt a legerősebb, gőzzel működő egység a világon! Hozzá kell tenni, hogy az S2-es maximális teljesítménye leadásakor a gőzturbina jellemzőinek köszönhetően alig fogyasztott szenet, miközben 170 km/h-s sebességre volt képes, míg a fent említett két gépnél óránként 10 tonnás szén- és 45 ezer literes vízfogyasztással kellett számolni, amikor maximális, 112 km/h-s sebességüket elérték! A mozdony nagy teljesítményét a névadó, hajózásban használt S2-es gőzturbinának köszönhető, mely kisebb átalakításokon ment keresztül, hogy vasúti alkalmazása is lehetővé váljon. A gőzös 6-8-6 tengelyelrendezésű volt, tehát 3 tengelyes első futó forgóváza után 4 tengelyes hajtott, a kazánt és a turbinát hordó-, majd egy másik 3 tengelyes, a vezetőállást alátámasztó futó forgóváz következett. A gőzturbina a második tengelyt hajtotta fogaskerék áttételen keresztül, és a négy hajtott tengelyt csatlórúd kötötte össze. Meg kell említeni, hogy ez a ritka tengelyelrendezés (háromtengelyes futó-forgóvázakat ritkán alkalmaznak, mert lecsökkentik a tengelynyomást, és így a tapadási tömeget is, ami egy ekkora teljesítményű mozdony vonóerejét nagyon lerontja) abból adódott, hogy a háború miatt a könnyű acélötvözeteket hadicélokra használták fel, emiatt a mozdony annyira nehéz lett, hogy csak ilyen módon tudták elérni a megfelelő tengelyterhelést. A mozdonynak egy kisebb teljesítményű hátrameneti turbinája is volt, amellyel azonban csak maximum 22 mérföldes, vagyis 36 km/h-s sebességgel tudott haladni. Az S2-es szinte minden tekintetben a legnagyobb volt, vagy a legnagyobbak közé tartozott. Szintén nem építettek bele gőzkondenzátort, a hatalmas gép működéséhez szükséges huzatot a világon egyedülálló módon 4 darab kémény alkalmazásával érték el, a nagyteljesítményű turbina gőzfogyasztását pedig a világ egyik legnagyobb fűtőfelületű, 21 bar nyomású kazánja, egy szintén a világ legnagyobbjai közé tartozó Belpaire-féle tűzszekrény, valamint az akkor nagy újításnak számító tápvíz-előmelegítő biztosította. A megálláshoz szükséges féklevegőt a füstszekrény előtt elhelyezett 2 darab kéthengeres, vízszahítóval ellátott, villamos meghajtású kompresszor biztosította. Ezek után talán nem meglepő, hogy a mozdony szerkocsija is a világon a legnagyobbak közé tartozó, 8 tengelyes, 40 tonna szén és 90 ezer liter vizet vinni képes monstrum volt, amivel önmagában közel 150 tonna tömeget képviselt. Ugyan a gép hatalmas teljesítményekre volt képes, mégis sikertelen konstrukciónak bizonyult a gőzturbina hátulütői miatt. 6900 lóerejének köszönhetően a legnehezebb vonatok vontatása sem okozott neki nehézséget, ilyenkor a hasonló méretű gőzmozdonyok szénfogyasztásának töredékével üzemelt, és működésénél fogva jóval kisebb

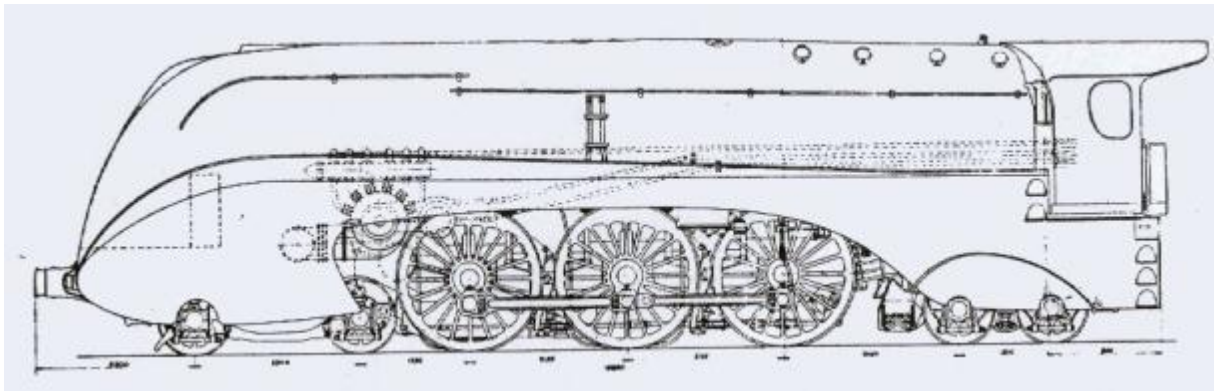
terhelést jelentett a pályának is. Azonban kis sebességeknél, főleg 50 km/h alatt a turbina rossz hatásfoka miatt annyi üzemanyagot és gőzt fogyasztott, hogy a már említett, világ legnagyobb kazánja is csak 5 bar nyomást tudott előállítani a 21 helyett. Ezenfelül, mivel a füstszekrényt kis sebességeknél érte a legnagyobb hőterhelés, amikor a menetszél nem hűtötte megfelelően, hamar repedések jelentek meg rajta. A szén árának növekedése, illetve a háború után megjelenő nagyteljesítményű dízel-villamos mozdonyok végleg megásták az egy darabos „sorozat” sírját. 1949-ben – kevesebb, mint 5 évnyi üzem után – kivonták a forgalomból, az eredetileg tervezett többi példány megrendelését visszamondták. A prototípust 1953-ban szétvágták, a mozdony továbbfejlesztésének szánt, még nagyobb teljesítményű S2-es turbinával felszerelt, de fogaskerekes helyett villamos erőátvitelt alkalmazó sorozattal végzett kísérletek pedig abbamaradtak. Emiatt sajnos csak az interneten fellelhető, kevés számú korabeli fénykép szolgál bizonyítékul eme hatalmas, tiszteletet parancsoló méretű mozdony létezésére.



A 6900 Ióerős S2-es

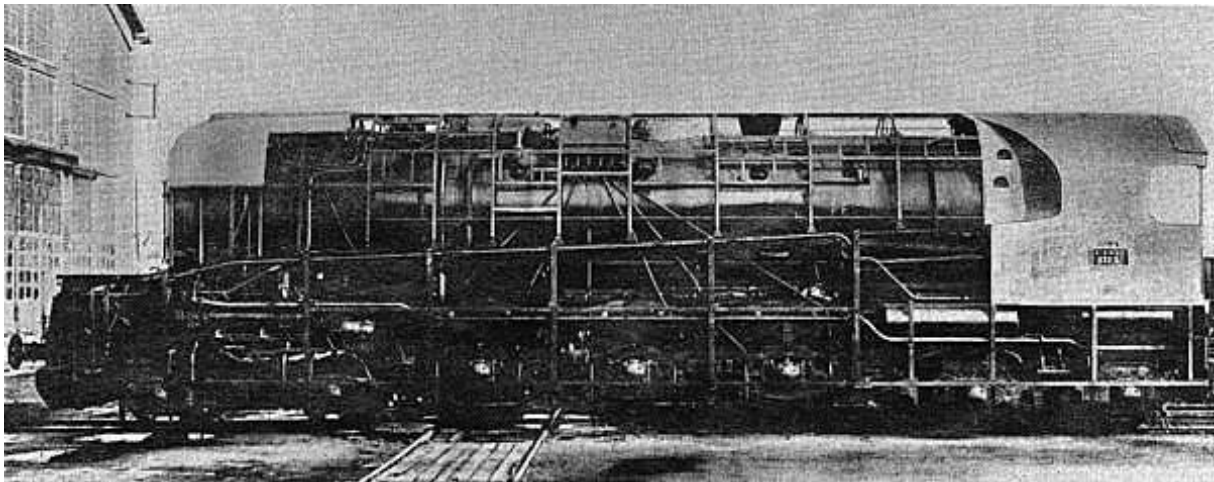
Franciaország – A háború közbeszól

Franciaországban még az eddigiekben ismertetett országokhoz képest is szerény volt a gőzturbinás hajtás jelentősége. Mindössze két ilyen típusról tudunk, ezek közül az első, leginkább a brit Turbomotive-hoz hasonló, „Nord Turbine” névre keresztelt kísérleti egység a tesztek pénzühiány miatti megszakadása után sima dugattyús hajtású, kondenzátoros gőzmozdonyná alakult vissza.



A „Nord Turbine” áramvonalas gőzturbinás mozdony jellegrajza

1939-ben készült el a másik, 232Q1 sorozatú, és az SNCF állományába kerülő lokomotív. Érdekessége volt, hogy noha egy hagyományos, 4-6-2-es mozdonyhoz hasonlított, nem volt csatlórúdazata; mindhárom hajtott tengely saját előre- és hátrameneti turbinával rendelkezett, azonban az így összesen 6 turbina miatt bonyolult, és a hajtás összes hátrányát (kéményventilátorok sorozatos hibája, kis sebességnél nagy fogyasztás) felvonultató elrendezés miatt nem lett túl sikeres. A gép végzetét azonban nem ez, hanem a háború alatt a német csapatok szabotázsakciója jelentette, mely során annyira megsérült, hogy nem lehetett megmenteni, 1946-ban pedig a maradványait is szétvágták.

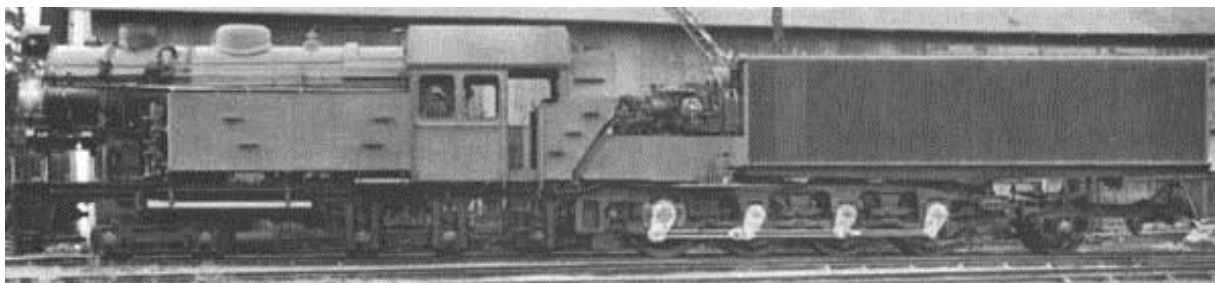


A 4-6-2 SNCF 232Q1 áramvonalas borításának felszerelése közben

Gőzturbinások Dél-Amerikában

A Dél-amerikai kontinensen egyedül Argentínában zajlottak előrehaladott kísérletek, mivel itt a Santa Fe és Tucumán városok közötti meredek hegyipályákon kevés vízvételzési helyet tudtak kialakítani. Egy gőzturbinás, kondenzátorral felszerelt mozdony sokkal nagyobb hatótávolságú volt, mint egy hagyományos, a felhasznált tápvizet a szabadba pőfögő gőzös, emiatt is érdeklődtek a gőzturbinák iránt. 1925-ben a svéd NoHAB gyár szállított egy ilyet az országnak, Ljungström tervei alapján. Az elkészült mozdony teljesítménye 1800 LE, maximális sebessége 65 km/h volt, a gép 1800 tonnás vonatokat is képes volt továbbítani. A kondenzátor jól működött, a víz mindössze 3-4 %-a veszett kárba, az is csak a víztartály tömítési hibái

miatti elszivárgás következtében. 1929-ben a gőzturbina egyik lapátja eltört, ezután dugattyús meghajtásúvá alakították át. A mozdony rossz üzemkészsége okán szintén nem lett sikeres gőzturbinásként, azonban dugattyússá visszaalakítva eredményesen küzdötte le az Andok hegyláncait vízvételzés nélkül is.



NoHAB-gyártmányú argentin gőzturbinás mozdony

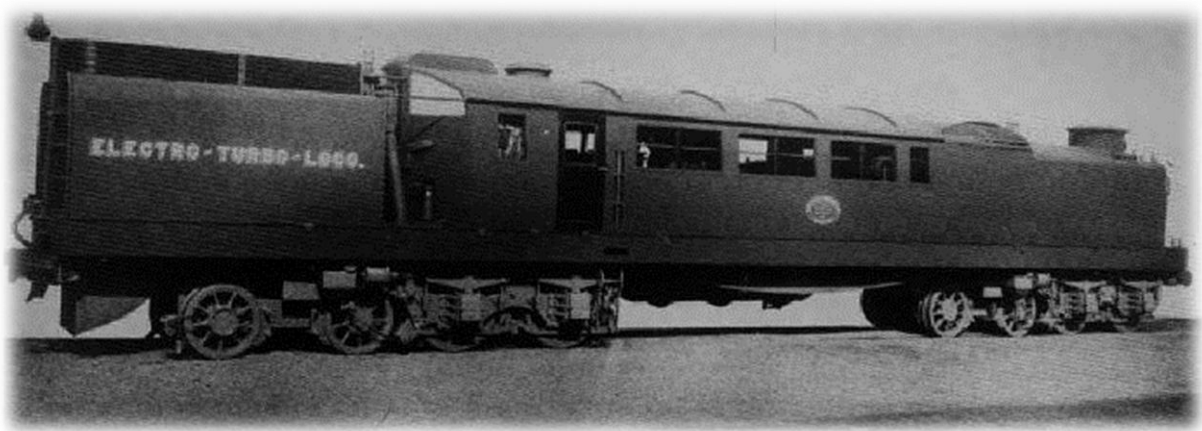
TURBÓELEKTROMOS MOZDONYOK

Mint az előbbiekből kiderül, hiába voltak a gőzturbinák megfelelőek, sőt egy idő után egyeduralkodók a hajózásban és az energiatermelésben, a vasúti alkalmazás igényeit nem tudták kielégíteni. Mivel a turbinák nem szeretik a terhelésváltásokat, és jó hatásfokkal csak stabil, nagy fordulatszámon tudnak működni, ideálisak lehetnek egy hetekig kis sebességváltozással a tengereken közlekedő gőzhajóba, vagy egy hónapokig azonos teljesítményen üzemelő alaperőműbe, a gyakran megálló-elinduló-gyorsító-lassító, és a pályán zötykölődő mozdonyba már nem megfelelőek, hiába tudnak hihetetlen teljesítményeket elérni. Azonban volt a vasúti gőzturbina alkalmazásának egy másik módja is, a már említett turbóelektromos meghajtás. Ha az erőműben jól működnek, miért ne lehetne azt az erőművet kerekre szerelni? – gondolhatták a korabeli mérnökök. A villamos hajtómű elméletileg azért megfelelőbb a vasúti alkalmazásban, mert a gőzturbina így mindig a neki megfelelő, magas fordulatszámokon üzemelhet, miközben a mozdony sebességét a vontatómotorok fordulatszám-szabályozásával, és a generátor gerjesztőáramának módosításával tág határok között lehet változtatni, és akár két irányban is lehet vele közlekedni, nem kell a hátramenethez külön hajtóegység. Ennél fogva a turbóelektromos mozdonyok valamivel népszerűbbek lehettek volna fogaskerekes társaiknál, azonban különböző, alant részletezett hibák miatt szintén nem terjedtek el túlságosan. A mechanikus hajtóműű mozdonyokkal ellentétben – amelyek inkább egy henger és rudazat nélküli hagyományos gőzösre hasonlítottak – ezek inkább a korai dízel- és villanymozdonyokkal mutattak kinézetbeli rokonságot, és automata tüzelő- illetve villamos vezérlőrendszereik miatt technikai fejlettségük is közelebb állt azokéhoz.

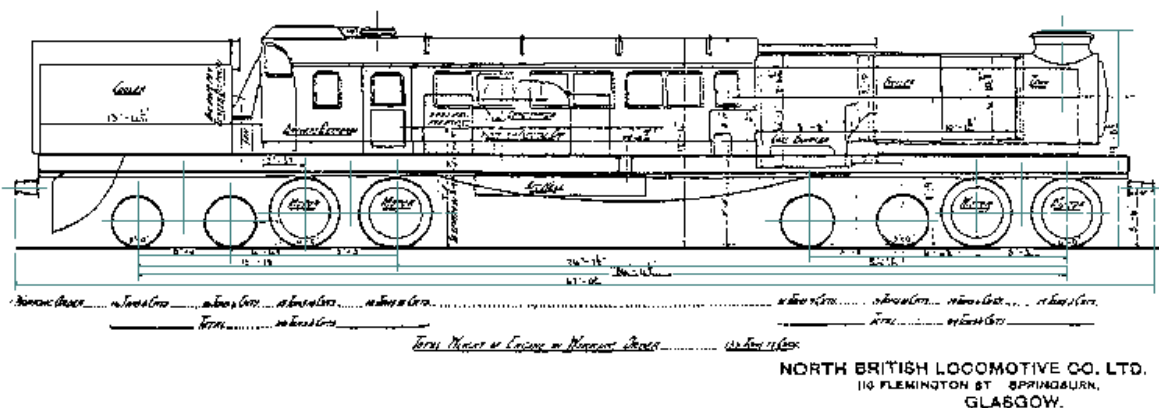
Anglia: sikertelen kísérletek

A legkorábbi turbóelektromos mozdonyok már jóval a fogaskerekes hajtóműűek előtt megjelentek. Angliában például már 1910-ben elkészült az első, Reid-Ramsay típusú turbinával felszerelt mozdony, amint az feljebb említésre került. Ez a gép kinézetre még

gőzmozdonyra hasonlított, sőt kazánja, és túlhevítője is egy meglévő típusról származott. Az itt megtermelt gőzt a turbinába vezették, amely közös tengelyen volt egy generátorral. A generátor által szolgáltatott áramot aztán a vontatómotorok táplálására használták. A furcsa, 4-4-0+4-4-0 tengelyelrendezésű, tehát 2+2 hajtott tengelyű gép minden hajtott tengelye saját egyenáramú (600 voltos) vontatómotorral rendelkezett, melyek forgórésze maga a tengely volt, áttétel nélkül. A konstrukció gőzkondenzátort is tartalmazott, amelyben a felhasznált tápvizet lecsapatták, és szivattyúkkal a szerkocsiba vezették vissza, ezzel sokat javítva a mozdony hatótávolságán. Ez azonban lényegtelen volt, mivel a villamos hajtás akkoriban még annyira kiforratlannak számított, hogy a gépet a tesztek befejeztével előbb fogaskerekessé építették át, majd – mivel a helyzet így sem javult – selejtezték (lásd az angliai gőzturbinásokat bemutató fejezetben).

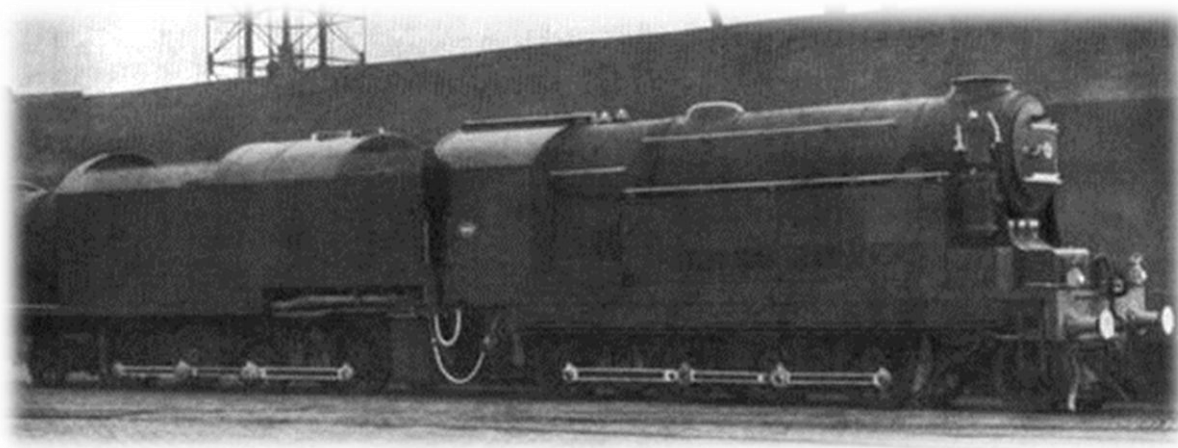


A Reid-Ramsay turbóelektromos kísérleti mozdony (fent) és gépészeti elrendezése (lent)



Egy Armstrong-Whitworth típusú gőzturbinával épített, 2-6-6-2 elrendezésű mozdony is szolgált Nagy-Britanniában, valamivel később, 1922-ben. Annak a gépnek a teljesítménye 1200 LE volt, és többek között az egyedülálló forgógépes gőzkondenzátora miatt vált érdekessé, amitől további hatásfok-növekedést vártak el. A turbinából kilépő fáradt gőz forgó csöveken haladt át, melyek vízzel voltak körülvéve, így az a csövek belső falára csapódott ki, miközben kondenzációs hőjét a csövek körül lévő tápvíznek adta le, előmelegítve azt. Elvben nagyon ötletes volt ez a megoldás, azonban a forgó csövek annyira lerontották a gőzturbinás

mozdonyok működéséhez elengedhetetlen huzatot, hogy többet ártott a hatásfoknak, mint ha egyáltalán nem is lett volna kondenzátor. Az egyébként jelentős súlytöbbletet okozó, és nagyon rossz megbízhatóságú megoldást így elvetették, és a gép mindössze pár hónapnyi tesztüzem után, 1923-ban a mozdonytemetőben végezte. Ezzel véget is ért a turbóelektromos hajtás története a királyságban.

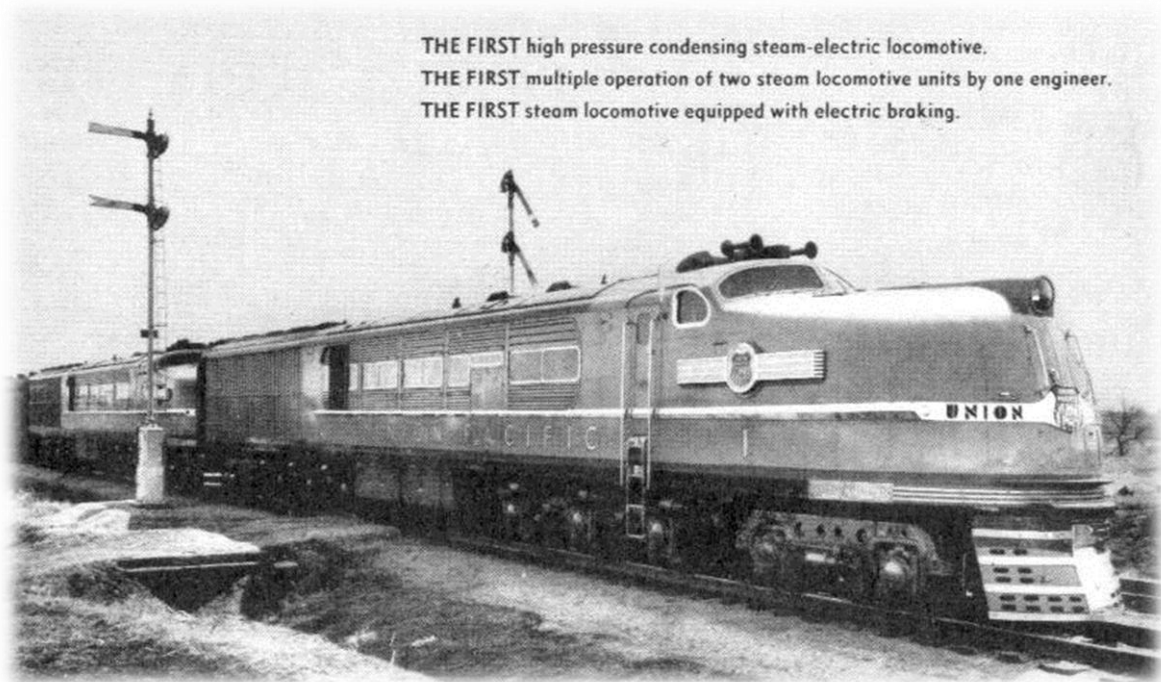


Armstrong-Whitworth gyártmányú gőzturbina-elektromos mozdony

A Union Pacific turbóelektromos gépei:

Amerikában ennél jóval több elektromos meghajtású típus szolgált, elsősorban a dízel-villamos mozdonyok ellenfeleként. Sajnos ezek a csodálatos külsejű gépek ott sem tudták megvetni a lábukat, a 60-as éveket egyikük sem élte meg. Az országban az első ilyen mozdonyt 1938-ban készítették el. A 4-6-6-4 tengelyelrendezésű gép az Union Pacific vasúttársasághoz került, és azért is volt érdekes, mert maga a meghajtás a turbinával, a kondenzátorral és a generátorral együtt egy az egyben egy erőműből származott! Mivel a berendezés eleve bonyolult, és legfőképpen nem mozgásra tervezett volt, nagy hátránnyal indult az amúgy nem túl népes, és szintén nem túl kiforrott mezőnyben. A Babcock & Wilcox típusú kazán a vezetőállás mögött foglalt helyet, a főgenerátoron kívül a mozdony orrában egy külön generátor termelte a világításhoz, vonatfűtéshez, és az egyéb segédberendezések működtetéséhez szükséges áramot. A mozdony fűtő-, és vezérlőrendszere automatikus volt, üzemanyaga-ként pedig az addig csak erőművekben, hajókon- majd ezután a cikkben később részletesen kitárgyalásra kerülő Union Pacific gázturbinás mozdonyoknál használt, akkoriban a csapvíznél is olcsóbb Bunker-C nehézzolaj szolgált. Így a működtetési költség egy gőzmozdohnál lényegesen kevesebbre jött ki. Két mozdonyt egyébként egy egységként, egy mozdonyvezetővel is lehetett használni. Az UP 1939-ben vette át őket tesztelésre, de még abban az évben vissza is adta szörnyű üzemkészségre hivatkozva a gyártó General Electric-nek. A gyár később kijavítva a Great Northern Railway-nek adta el őket, ahol 1943-ig vontatójármű-hiány esetén vetették be ezeket a gépeket, minthogy a legnehezebb vonatokat is képesek voltak elhúzni. Arra az évre azonban a nem ekkora igénybevételre tervezett mozdonyok hajtott kerekeinek nyomkarimái annyira elhasználódtak, hogy ki kellett volna cserélni őket, és mivel ezzel egyidőben az egyik lokomotív kazánja is tönkrement, újra visszakerültek a gyárhoz. Az azon-

ban ezúttal már nem ölt bele több pénzt és munkát a konstrukcióba, és még abban az évben szétszerelte őket.



Az Union Pacific első gőzturbina-elektromos mozdonyai

Fél év szolgálat - A „Szent Tehén”: C&O M1

Akár egy retrofuturisztikus film díszleteként is beválna a gyönyörű, és egyben félelmetes kinézetű, 1947-től a Chesapeake & Ohio Railways-nél (C&O) szolgáló 3 darab M1-es mozdony. A porított szén tüzelésű gépek sajnos típusaikhoz hasonlóan nagyon megbízhatatlannak bizonyultak, ezért a C&O, típuson szolgáló mozdonyvezetői annak rövid, pár hónapos szolgálata ellenére is a nagyon találó, ám kevésbé hízelgő „Sacred Cow” (Szent Tehén) becenevet aggatták rájuk. A nem kevesebb, mint 6000 lóerős masinák egyedülálló 2-C1+1-C2+B2 (Whyte-rendszer szerint 4-6-2+2-6-4+0-4-4) tengelyelrendezésűek voltak. Ez a sok kerék a hattengelyes szerkocsival együtt egy 32 méteres szerelvényt támasztott alá, ezzel a leghosszabb személyvonati mozdonná téve az M1-est. A gépészeti elrendezés is figyelemreméltó volt. A vezetőállás középre került, előtte volt egy hatalmas, és dizájnos cápaorrbán végződő széntartály, mögötte pedig a gőzturbina, és egy fordított kazán kapott helyet (emiat a kémény a mozdony végén volt). A szerkocsinak így csak a vizet kellett szállítania. A gépeket a Washington és az ohio-i Cincinatti közötti nagytömegű gyorsvonati forgalom lebonyolítására rendelték, de egyetlen utat se tudtak meghibásodás nélkül teljesíteni. A sorozat konstrukciós hibája volt, hogy a szennyeződésekre érzékeny vontatómotorokba mindig bejutott a szénpor, a víz, illetve nagy sebességeknél a pályáról felkapott por, így hamar zárlatosak lettek. Ezek kijavítása nagyon sok időbe, és pénzbe került, így a vasúttársaság számára is nyilvánvalóvá vált, hogy hosszútávon igen költséges lenne a sorozat üzemeltetése. Emiatt döntött úgy, hogy a gépeket példátlanul rövid idő, mindössze fél év után, 1948-ban kivonják a forgalomból, majd 1950-ben mindhármát szétvágták.



Az impozáns méretű C&O M1

Az utolsó mohikán: N&W „Jawn Henry”

A turbóelektromos hajtás utolsó képviselője az 1954-ben a világhírű Baldwin-műveknél készült, majd a Norfolk & Western (N&W) vasúttársaságnál tehervonati szolgáltatást teljesítő 4500 lóerős „Jawn Henry” volt. A mozdony a nevét az amerikai folklór egyik alakjáról, John Henry-ről, a legendás vasútépítőről kapta, aki a monda szerint egyszer megnyert egy vasútépítési versenyt egy gőzzel hajtott sínépítő géppel szemben, majd a kalapáccsal a kezében ott halt meg a célvonalban. A gépészeti elrendezés hasonló volt az M1-eshez, apróbb különbségekkel, illetve itt a C&O mozdonytól eltérő C+C-C+C (0-6-6-0+0-6-6-0) tengelyelrendezést alkalmaztak. Nemcsak az elrendezés, hanem a végül a sorozat végét jelentő hibák is hasonlóak voltak a C&O mozdonyéhoz. A vontatómotorokba a csövekből becsorgó víz állandóan zárlatot okozott, illetve az újszerű, Babcock & Wilcox vízcsöves kazán automata vezérlőberendezése is folyton meghibásodott. A sikertelen konstrukció ugyan hosszabb szolgálati időt tudhatott magáénak, mint elődje, hibái miatt ez sem kerülhette el a végétét. 1958. január 4-én az utolsó példányt is leállították, ezzel véget vetve a gőzturbinák sikertelen, de tanulságos korszakának a vasúti vontatásban.



Norfolk & Western „Jawn Henry”

A gőzturbinások alkonya, a kor értéklése

Az utolsó ilyen mozdony nyugdíjba vonulásával szerepüket végleg átvették a korszerűbb, olcsóbban üzemeltethető, megbízhatóbb dízel-villamos mozdonyok. Eddig nem említett további hátránya volt a turbináknak, hogy míg egy dízelmozdonyt pár másodperc alatt el lehet indítani, és ugyanilyen gyorsan le is állhat, a gőzturbinák üzembe helyezése a gőzmozdonyokhoz hasonlóan fáradságos, és időigényes munka, ráadásul a turbóelektromos gépek-nél bonyolult felépítésük miatt még nehezebb is. Mindezek ellenére elmondható, hogy ha a gőzturbinák nem is váltak be a mozdonyoknál, az itt elszenvedett kudarcok nagyban hozzájárultak ezen erőforrások fejlődéséhez, így ha a vasutaknál nem is, a technikában mindenképpen nyereségesnek tekinthető ez a próbálkozás. Jobban örülnénk, ha ennél valamivel több példányt őriztek volna meg az utókornak, de sajnós a gőzturbinások „fénykora” nem arra az időszakra esett, amikor a megőrzéssel sokat törődtek volna. Mindenesetre egy technikatörténet iránt érdeklődő számára a cikk következő fejezetében részletezett gázturbinás hajtással együtt annak egyik legérdekesebb fejezetét jelenthetik ezek a mozdonyok.

Felhasznált képek és irodalom

<http://capitalbusiness.me>

<http://www.greenesolpower.com>

http://en.wikipedia.org/wiki/Steam_turbine

<http://www.directindustry.com>

http://www.mpoweruk.com/fossil_fuels.htm

<http://pagan-land.info>

http://es.wikipedia.org/wiki/Charles_Algeron_Parsons

<http://user29269.vs.easily.co.uk>

<http://telstarlogistics.typepad.com>

<http://www.toytrains1.com>

<http://home.roadrunner.com>

<http://www.douglas-self.com/MUSEUM/LOCOLOCO/locoloco.htm>

III. FEJEZET

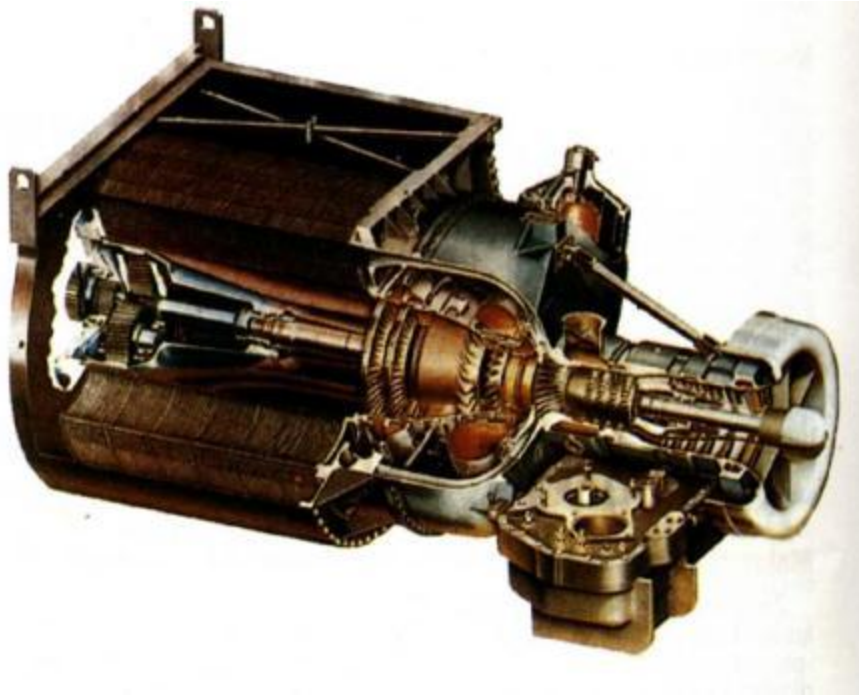
GÁZTURBINÁS MOZDONYOK ÉS MOTORKO- CSIK



A GÁZTURBINÁK

Bevezető

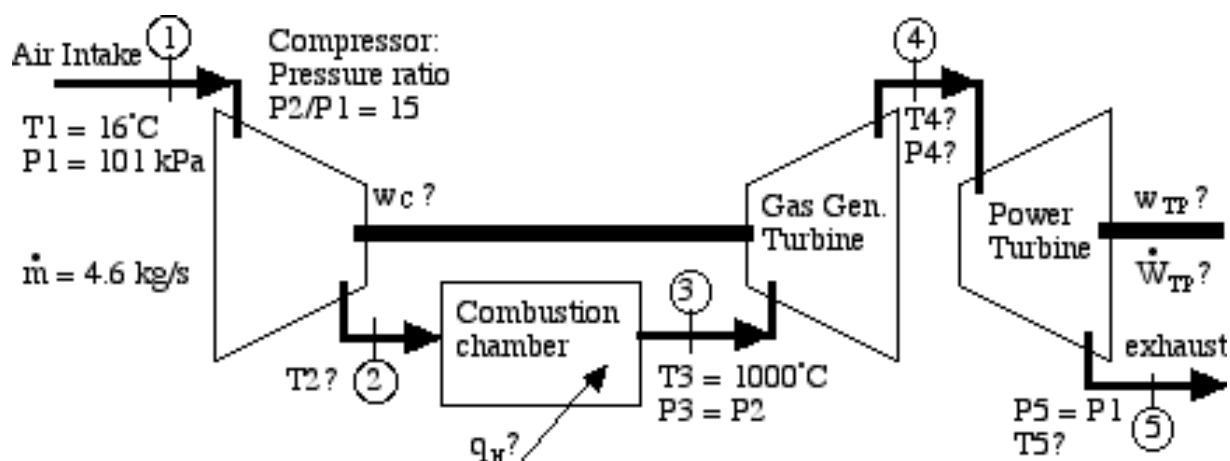
Ugyan a gőzturbinák mai alkalmazásának hallatán egy laikus talán csodálkozni fog, a gázturbinák már biztosan ismerősebben csengenek bárki számára. Nem kell nagyon a témába mélyedni ahhoz, hogy tudjuk, hogy manapság az összes utasszállító- és vadászrepülőgép, a korszerű helikopterek mind gázturbinával hajtottak, de kis utánajárással az is kideríthető, hogy a modern óceánjárók, harckocsik, és erőművek sem lennének meg enélkül.



Az M1 Abrams tank 1500 lóerős Honeywell AGT1500-C típusú gázturbinája

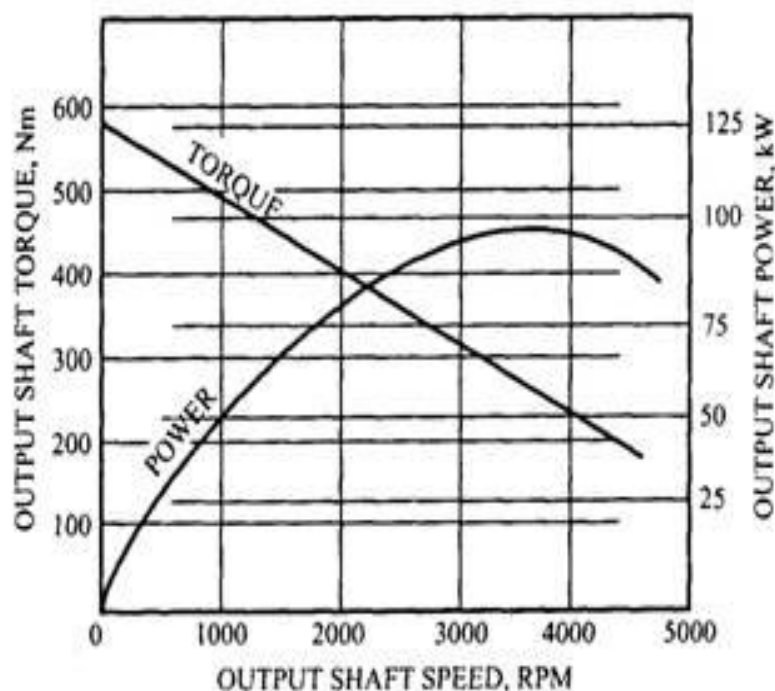
A gázturbinák működése

A gázturbina működése annyiban hasonlít a gőzturbináéhoz, hogy ebben az esetben is az ideálisan hajlított lapátok felületére érkező munkavégző közeg hozza forgásba azokat. A gázturbinában is sok fokozatot használnak a hatásfok növelése érdekében, ezért felépítésében is sok hasonlóságot mutat gőzzel hajtott társával. Azonban sok nagy különbség is van a kettő között. Amíg a gőzturbinában egy külső hőtárolóban keletkezik a hő, addig a gázturbinánál az égés és a munkavégzés ugyanabban a térben zajlik. A gázturbina szintén egyszerűbb felépítésű, és működési elvű, mint a vele sokszor párhuzamba állított, vetélytársának tekinthető dugattyús dízel- és benzinmotorok. Legfontosabb jellemzője, hogy két részből áll. Az egyik az égéshez szükséges sűrített levegő előállításáért felelős kompresszorkerék, amely legtöbbször közös tengelyen, vagy valamilyen más kapcsolatban van a tényleges munkát végző turbinakerékkel. A turbinával ellentétes lapátozású kompresszorkerék forgása közben beszívja a levegőt, összesűríti, majd az égéstérbe juttatja, ahol az összekeveredik a beporlasztott üzemanyaggal, majd meggyújtva kitágul, és az így nyert mozgási energia meghajtja a turbinakerekeket. Az pedig így tovább forgatja a kompresszorkereket, és így tovább.



Egy gázgenerátoros (szabad)turbina sematikus felépítése

Ahogy a gőzturbina nagy előnye a gőzgéphez képest a folyamatos munkavégzés, úgy a gázturbina is jobb e tekintetben a dugattyús Otto- és dízelmotoroknál, mivel folyamatos égést valósít meg. A gázturbinák ezenfelül alacsonyabb fenntartási költségeket jelentenek, és jobb teljesítmény/tömeg aránnyal rendelkeznek dugattyús ellenfeleiknél, azonban működési sajátosságaik miatt (több tíz-, esetenként 100 ezer fordulat/perces fordulatszám, magas üzemi hőmérséklet), gyártásuk jobb anyagminőséget, és nagy szakértelmet követel meg.

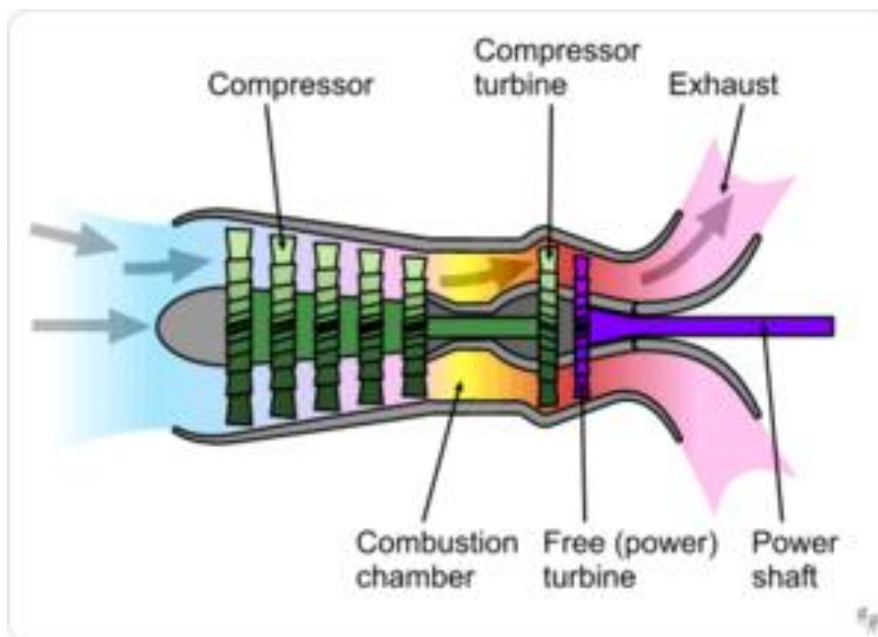


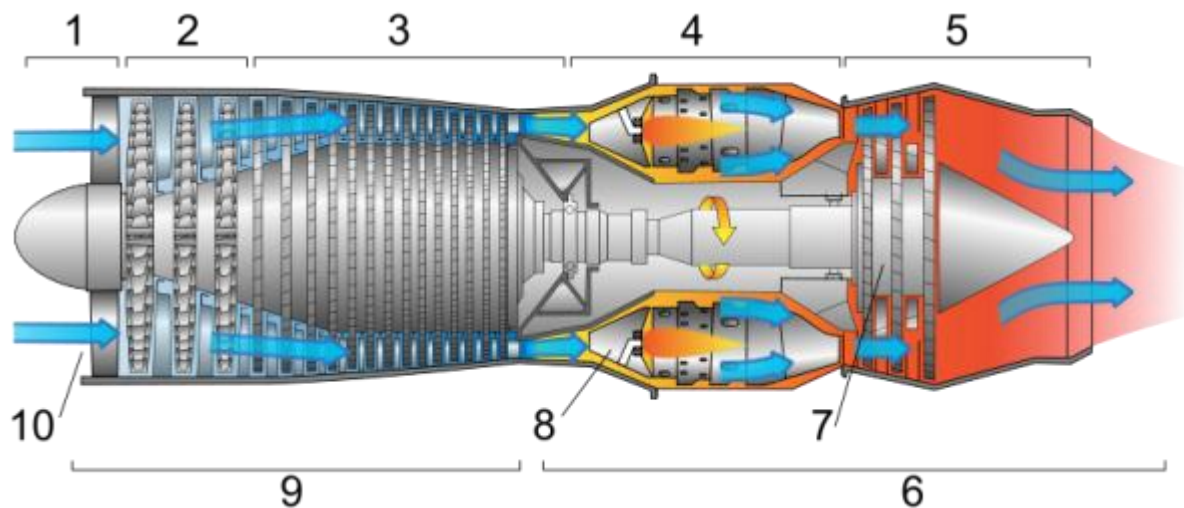
A gázturbinák nagy előnye, hogy alacsony fordulatszámon (indításkor) hatalmas nyomatékot tudnak kifejteni, míg magas fordulaton nagy fajlagos teljesítménnyel, de kis fajlagos fogyasztással üzemelnek, tehát az erő így vagy úgy, de mindig velünk van. A képen egy 1967-es British Leyland gázturbina nyomaték-fordulatszám és teljesítmény-fordulatszám diagramja.

Gázturbina-típusváltozatok

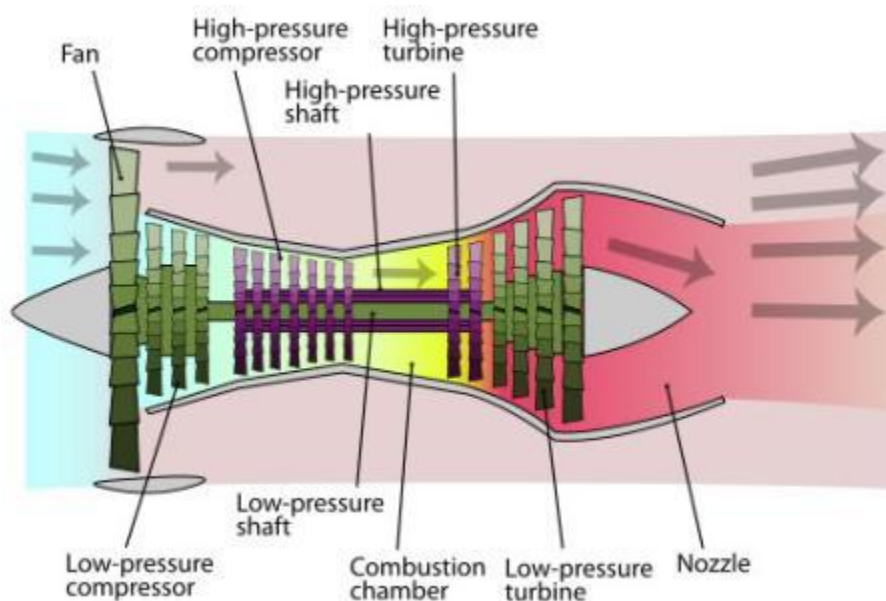
Aszerint, hogy az égéstermékek energiáját milyen módon hasznosítják, többféle gázturbinát is megkülönböztetünk. A legegyszerűbb ezek közül a már vázolt működési elvű, tengelyteljesítményt szolgáltató gázturbina, ahol a gázok energiája a turbinakerék tengelyén alakul át levehető teljesítménnyé. Az ilyen megoldásoknál általában áttételeken keresztül hajtanak meg valamilyen tengelyt, például egy kerék, légcsavar, vagy generátor tengelyét. Leggyakrabban alkalmazása a helikopterek, légcsavaros repülőgépek, modern tankok, gyors reakciójú erőművek, és persze a vasúti vontatás területe.

A gázturbinás sugárhajtóművekben, az égés során keletkezett gázokat egy fúvókán (de Laval-fúvóka) hangsebesség fölé gyorsítják, és a fúvókán kilépő gázok reakcióereje az áramlás irányával ellentétesen hozza mozgásba a járművet. Szinte az összes mai vadászgépben ilyen gázturbinák szolgáltatják a tolóerőt, legtöbbször utánégető berendezéssel kiegészítve. A tengelyturbinák (turboshaft) és a hagyományos sugárhajtóművek (turbojet) egyfajta ötvözésének tekinthetők a kétáramú gázturbinás sugárhajtóművek (turbofan), melyeknél a turbinába belépő levegőnek csak egy része jut be az égéstérbe, a másik megkerüli azt. Aszerint, hogy ez a hányad mekkora, megkülönböztetünk low-bypass és high-bypass (alacsony- és magas megkerülési arányú) hajtóműveket. A turbofan-okban a munkavégzésben résztvevő levegő elégetésével gyújtják be a turbinában az üzemanyagot, ami aztán égéstermékek formájában a fúvókákon keresztül távozva előretolja a járművet. A turbinakerékkel közös tengelyen levő, így együtt forgó turbóventillátor emellett a hagyományos légcsavaros gépekhez hasonlóan a megkerülő levegő segítségével fejt ki vonóerőt, tovább gyorsítva a gépet, de plusz üzemanyagot fel nem használva. Ezt a megoldást (főleg a high-bypassst) alkalmazzák a legtöbb modern utasszállító repülőgép esetében, amelyeknél az alacsony üzemanyagfogyasztás és zajszint egyaránt fontos.



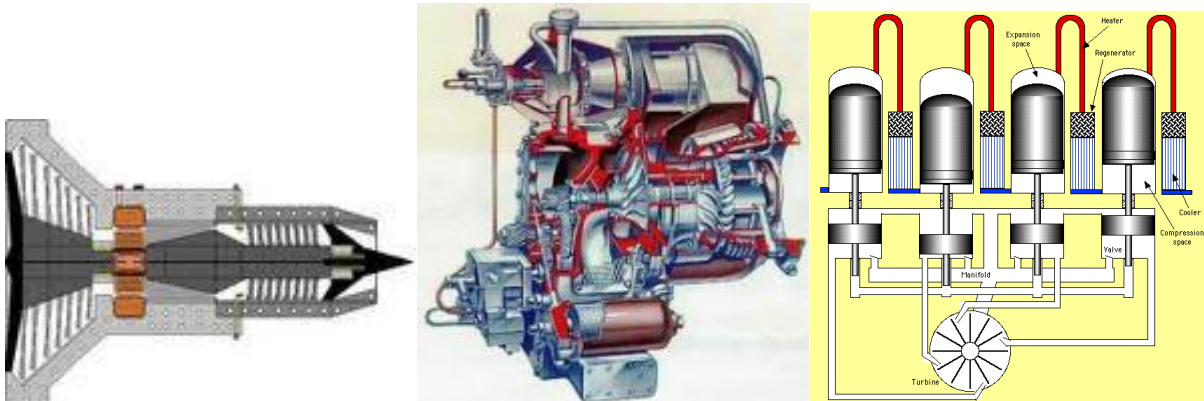


Tengelyteljesítményt szolgáltató gázturbina (túldalt alul), gázturbinás sugárhajtómű (fent), és turbóventilátoros kétáramú gázturbinás sugárhajtómű (alul)



A gázturbinákat az égéstermékek áramlásának iránya (kompresszortípus) szerint is csoportokra lehet osztani. Amelyekben a gázok a tengellyel párhuzamosan haladnak, axiális, amelyekben arra merőleges síkban, sugárirányban, azokat pedig radiális gázturbinának nevezzük. A kompresszortípusok szerinti besorolás harmadik fajtája a külső gázgenerátoros (szabad) turbina, amelynél magának a gázturbinának nincsen kompresszora és égéstere, egy külső gázgenerátor égéstermékei hajtják meg. A gázgenerátor általában belső égésű Otto- vagy dízelmotor, de akár bolygódugattyús Wankel-motor is lehet. Az ilyen típusú turbinák mindig tengelyteljesítményt szolgáltatnak. Az axiális turbinák jobb hatásfokuk miatt sokkal kedveltebbek, illetve elterjedtebbek, és mivel vasúti alkalmazásban csak ilyen típusú, illetve gázgenerátoros turbinákat alkalmaznak, vagy alkalmaztak, a továbbiakban csak a tengelytel-

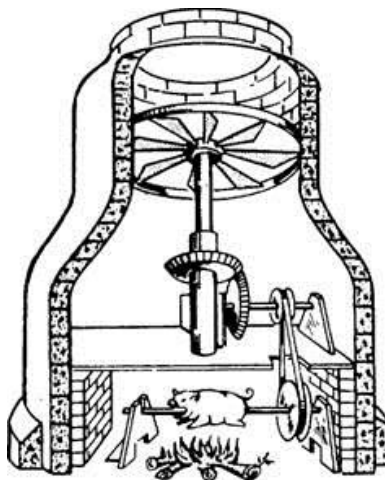
jesítményt szolgáltató turbinákkal, és annak is ezzel a két altípusával foglalkozunk.



Axiális (balra), radiális (középen) és külső gázgenerátoros gázturbina (jobbra)

A gázturbinák története

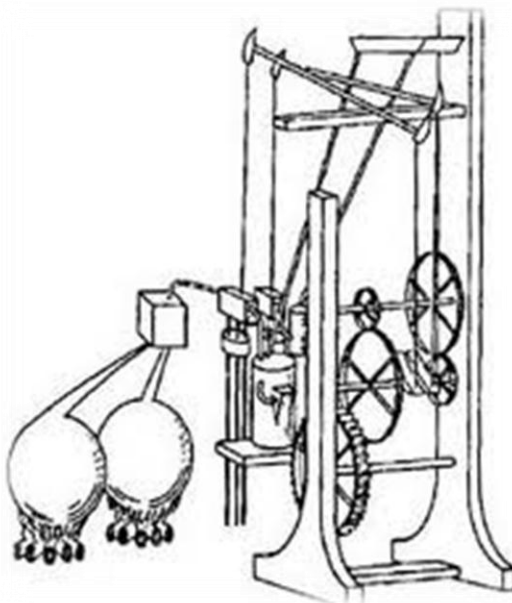
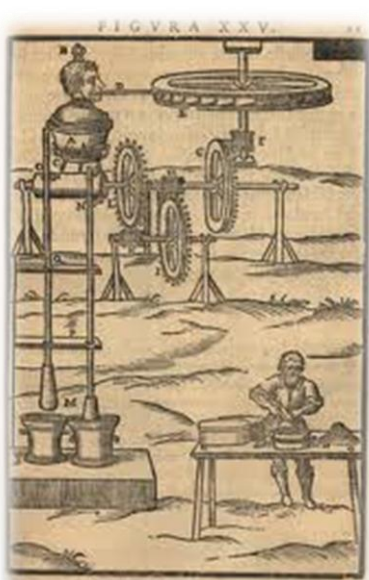
Ugyan Hérón találmányát mind a gőz- mind a gázturbinák első képviselőjének tekintik, az utóbbiakra lényegesen több példát találunk a történelemben. 1500-ban Leonardo da Vinci is tervezett egy „gépet”, amit működési elve miatt az egyik legkorábbi gázturbinának tartanak. A később „Chimney Jack” (Kémény Jack) becenevet kapó szerkezet egy kéménybe épített egyfokozatú axiálturbina volt, melyet a kandallóból felszálló meleg levegő forgatott, és áttételeken keresztül hajtotta meg a kandallóban éppen sült grillhúsok rúdját. Sajnos Leonardo sok találmányához hasonlóan végül ez sem valósult meg.



Leonardo da Vinci „Chimney Jack”-jének tervrajza

1629-ben Giovanni Branca olasz feltaláló épített egy, szintén meleg levegő által forgatott kezdetleges turbinát, amely ékszíjak segítségével egy prés gép működéséhez elegendő teljesítményt tudott szolgáltatni. Az első, modern gázturbinák főegységeit (kompresszor, égéstér, turbina) tartalmazó gázturbinát 1791-ben tervezte és építette meg az angol John Barber. Találmányát sajnos nem tudta levédetni, mert a városban, ahol élt, nem volt talál-

mányügyi hivatal. Az általa tervezett egységgel egyébként egy szekeret akart meghajtani, de sajnos nem volt elég erős ahhoz, hogy magától üzemeljen. A XVIII. század végén és a XIX. században készültek ugyan gázturbina modellek, de azok vagy túl kicsik voltak a komoly használhatóságához, vagy egyáltalán nem is működtek.



Balra: Giovanni Branca gázturbinája Jobbra: John Barber terve

Charles Parsons gőzturbinája aztán nem csak saját hajójának – és mérnöki karrierjének – hanem a gázturbinás kísérleteknek új lökést adott. Az első kereskedelmileg is sikeres ilyen gépet 1899-ben helyezték üzembe. A 3 darab, egyenként 4 tonnás, 100 kW, vagyis 136 lóerő teljesítményű radiálturbinához csatolt turbógenerátorok Cambridge-ben a világ első elektromos közvilágításának lámpáihoz termeltek áramot. A modern gázturbinák működési alapjait végül 1900-ban fogalmazta meg Sanford Alexander Moss repülőmérnök, aki egyébként később a General Electric turbinákkal foglalkozó divíziójának vezetője is lett, és 1903-ban ő alkalmazta először a turbófeltöltőt – mint speciális gázturbinát – egy nagyon korai repülőgép-motoron. Az első sorozatgyártású gázturbinát is a GE mutatta be 1918-ban. 1934-ben megszületik az első gázgenerátorral működő gázturbina, amely később a vasúti vontatásban is megjelent, de sajnos sikertelen karriert futott be. A gázgenerátor egy kétütemű ellendugattyús motor volt, amelynek égéstermékei hajtották meg a kompresszor és égéstér nélküli turbinát.

A gázturbina története során sokféle alkalmazási lehetőséggel kísérleteztek, de nem mind valósult meg, vagy lett sikeres. Az erőművekben, és a repülésben való alkalmazhatóságának sikereit senkinek sem kell ismertetni, elég csak valamelyik híres repülőgéptípusra, vagy a manapság már akár 3-400 MW-os gázturbinás erőművekre gondolni. A haditechnikában a gázturbinás repülőgépek mellett néhány szárazföldi harckocsiban is bizonyított ez a meghajtás; a világ egyik legmodernebb, és legerősebb nehéz tankja, a beszédes „Whispering death” (Suttogó halál) becenévre hallgató M1 Abrams nehéz harckocsit 1500 lóerős teljesítménye és ebben a műfajban nagyon jónak számító 70 km/h-s végsebessége éppúgy ismerté

tette, mint 100 km-enkénti 500 literes kerozinfogyasztása. Az Amerikában a szovjet „Szputnyik” 1957-es felbocsátását követő rakétaőrület többek között azt is magával hozta, hogy néhány autógyártó gázturbinás autókkal kezdett kísérletezni. Sajnos a kellemes nyomaték-görbe és a felszálló 747-eshez hasonlító hang, valamint annak ellenére, hogy a gázturbinás autók bármilyen éghető, beporlasztható folyadékkal üzemelni tudtak, a tesztek nem hozták a várt eredményt. A hatalmas fogyasztás, a kiáramló kipufogógázok nagy sebessége és hőmérséklete (ami miatt egyébként az Abrams tankok is hamarosan dízelüzeműre lesznek átépítve, mivel nem használhatók fedezékként), valamint a drága gyártás hamvába holt ötletté tette a gázturbinás autót, csak néhány érdekes modellt hagyva meg az utókornak. A gázturbinákat szívesen alkalmazzák ezeken kívül tűzoltófecskendők, repülőgéptűz-oltó turbinák, pótgenerátorok meghajtására, de a manapság már 800 ezres percenkénti fordulatra képes fogorvosi fúrók is tulajdonképpen speciális gázturbinák.



Balra: Chrysler Turbine kísérleti gázturbinás autó: teljesítménye 130 LE, fogyasztása 25 l/100 km. Jobbra: Airbus A380, a világ legnagyobb utasszállító repülőgépe: teljesítménye kb. 300 000 LE, fogyasztás 2,9 liter/ülőhely/100 km



Balra: M1 Abrams nehéz harckocsi, jobbra: Lotus 56B, kísérleti gázturbinás Forma1-es autó teljesítménye kb. 700 LE, amivel máig a legjobb teljesítmény/tömeg arányú versenyautó



Balra: MTT Turbine Suberbike, (ismertebb nevén Y2K) gázturbinás motorkerékpár. Teljesítménye 320 lóerő 52 000-es fordulaton, maximális sebessége 370 km/h. Gázolajjal, vagy kerozinnal üzemel
 Jobbra: Sikorsky X2 gázturbinás helikopter, a leggyorsabb helikopter a világon. Teljesítménye 1800 LE, maximális sebessége 480 km/h

A GÁZTURBINÁK VASÚTI ALKALMAZÁSÁNAK TÖRTÉNETE

Vasúti gázturbina meghajtások:

A vasúti gázturbinás vontatás történetében több alapvető megoldás is született. A legszélesebben alkalmazott eljárás a gázturbina-elektromos meghajtás, melynél a gőzturbinához hasonlóan az erőforrással közös tengelyen levő turbógenerátor termeli a meghajtást végző vontatómotorok működéséhez szükséges villamos energiát. Az előny itt is abban rejlik, hogy a gázturbina közel azonos fordulatszámon üzemelhet, míg a tényleges haladási sebességet a vontatómotorok fordulatszámának változtatásával választják meg. A második lehetőség gázgenerátoros turbina alkalmazása, amelynél egy dugattyús Otto- vagy dízelmotor, ritkábban egy másik turbina égéstermékei forgatják meg a turbinakereket, amely aztán ritkábban mechanikus, többségében hidraulikus vagy szintén elektromos hajtóművön keresztül adja át a teljesítményt a kereknek, illetve néhány esetben a gázgenerátor feltöltéséhez is állít elő sűrített levegőt. Míg az első változat a tipikus nagy, nehéz, és hatalmas teljesítményű tehermozdonyok körében alkalmazott, a második a könnyű, és szupergyors motorvonatok meghajtásaként terjedt el inkább.

A gázturbinák „mérlege” a vasúti vontatásban:

Alapvetően azért gondolták a mozdonyok körében is gazdaságos üzemre alkalmasnak a gázturbinákat, mert a hasonló teljesítményű dízeleknél jóval kisebbek voltak, kevesebb mozgó alkatrészük elvileg jobb üzembiztosságot, és hosszabb szervizperiódust jelentett, illetve magas fordulatszámon nagyon jó hatásfokkal dolgoztak. Sajnos azonban a turbinák működési sajátossága – hogy részterhelésen nagyon gazdaságtalanul üzemeltek – rányomta a bélyegét a gázturbina vasúti alkalmazhatóságára, de nem lendített a karrierjükön a nagy levegőigénnyel való működésük – mely később az alagutakban sok problémát okozott – és zajos üzemük sem. Mivel azonban a gázturbinás mozdonyok a dízelmozdonyoknál rosszabb minőségű, tehát olcsóbb üzemanyaggal is megelégedtek, egy darabig ez az előny, valamint hatalmas teljesítményük ellensúlyozta azt a pár kényelmetlenséget. A gázturbinás moz-

donymeghajtás tehát nem ért olyan szomorú véget, mint a gőzturbinák vasúti pályafutása, de ezen hátrányok miatt elterjedni sem tudott olyan mértékben, mint a dízel- vagy a villanymozdonyok. E gépek üzeme azonban a gőzturbinás mozdonyok mellett szintén üde színtoltja a vasúti vontatás történetének.

GÁZTURBINÁS MOZDONYOK

A svájci Am4/6 gázturbina-elektromos mozdony

A gázturbina-elektromos meghajtás első képviselője az 1938-ban Svájcban elkészült Am4/6-1101-es mozdony volt, amelyet először kísérleti használatra vett át a Svájci Szövetségi Vasutak, a hegyvidéki, akkor még villamosítatlan szakaszokon jelentkező vonóerő hiány kiküszöbölésére. A korábban áramtermelésre használt stabil üzemű gázturbinákat gyártó Brown, Broveri & Cie (BBC) cég kapta a megrendelést, a maximum 6 tengelyes, 2000-2200 LE teljesítményű, legfeljebb 92 tonnás és legalább 110 km/h sebességre képes, gázturbinás mozdony tervezésére, és építésére. A cég sikerrel tervezte át turbógenerátorait vasúti alkalmazásra, és még abban az évben elkészült a 2170 lóerős, 1'D1' (egy futó-, 4 hajtott, egy futótengely) tengelyelrendezésű, és meglehetősen ormótlan kinézetű Am4/6-os mozdony. A cég próbálkozott a hidrodinamikus hajtóművel, de mivel az annál használt olajszivattyúk több mint 400 lóerős teljesítményvesztést okoztak, visszatértek az egyébként is favorizált generátorokhoz. A turbina kompresszora 290 bar nyomású levegőt állított elő, amihez nem kevesebb, mint 6000 lóerő teljesítményre volt szüksége. A turbina üzemi hőmérséklete 500-600 °C körül alakult, bruttó teljesítménye pedig meghaladta a 8000 lóerőt, amiből a kompresszor meghajtásához szükséges teljesítményt leszámítva jött ki a 2170 LE nettó teljesítmény, ez pedig a segédberendezések teljesítményigényének ismeretében 1380 LE, kerékkarimán mérhető vontatási teljesítményt, és 110 kN vonóerőt eredményezett. A turbinából kilépő égéstermékek egy hőcserélőn keresztül először előmelegítették a beszívott levegőt, majd a mozdony tetején elhelyezett hatalmas kipufogókon távoztak. Az Am4/6-os termikus hatásfoka 1700 LE teljesítménynél volt a legjobb, ekkor a befektetett energia 18%-a fordítódott a tengely meghajtására. 1000 LE-nél 15% volt ez az érték (innen lefelé drámaian esni kezdett), a maximális 2170 LE-s teljesítménynél 16 %-os hatásfokkal működött. Ez még a korabeli dízelmozdonyoknál is sokkal rosszabb érték volt, emiatt a tesztpéldányt ugyan megtartotta a vasúttársaság, új egységeket már nem rendelt a gyártól, ami így vissza is tért az áramtermelő gázturbinák gyártásához. A gázturbina indítása úgy zajlott, hogy elsőként akkumulátorok segítségével egy kisméretű segéddízelt indítottak el, ami lassan elkezdte felpörgetni a generátort, ezen keresztül pedig magát a főgépet. 4 perc után a gázturbinát begyújtották, aminek aztán újabb 4 perc kellett az alapjárat fordulatszám elérésére. Addig a mozdony a segéddízel által termelt energiával maximum 10 km/h sebességgel is tudott haladni, ami elég volt arra, hogy pl. vonatára ráálljon. A maximális generátorfordulatszám 300/perc volt, alapláraton a generátor 100-at fordult percenként. A mozdonyt különösebb problémák nélkül egészen 1958-ig használta a vasúttársaság. Ekkor felújítása mellett döntöttek, de az új elektromos rendszer nem hozta a várt eredményeket, illetve időközben Svájcban az összes fontosabb vonal villamosításra került, nagyban csökkentve a gázturbinás gép bevethető területeit.

Ezek miatt végül az egy darabos „sorozat” selejtezésre került. Még üze me során a gép Néme-
tországban is szolgált rövid ideig, ahol gőzmozdonyok kiváltására kerestek megfelelő vonta-
tási nemet. Jóllehet az Am4/6-os sokkal jobban teljesített a hasonló teljesítményű gőzösök-
nél, az eredeti gyártó már nem volt érdekelt a vasúti gázturbinák gyártásában, így a társaság
végül dízelekkel oldotta meg a problémát. Ilyen teszteket Franciaországban is végeztek, de
ott villanyvontatásra tértek át később.



176/379 Zwei verschiedene Aufnahmen aus der Anfangszeit des Betriebes der Gasturbinen-Lokomotive Am 4/6 Nr. 1101. Sie 1941 gebaut, wurde dann die Lokomotive eingehend während Jahren erprobt, bis sie Anfang Oktober 1944 von den SBB in den Rollmaterialbestand übernommen wurde. Sie war eine Entwicklung der BBC, die in der ganzen Welt ihre Nachfolger fand. Insbesondere in Ländern mit eigenen Rohöquellen und geringen Wasservorkommen ist sie für lange Streckenabschnitte geeignet. Für die Schweiz mit der kurzen Stationsfolge war der Loktyp weniger günstig. Die Fotos entstanden 1942 (oben) und 1947 (unten). (Fotos E. Klingenhoff)



Am4/6, az egyik első gázturbina-elektromos mozdony

A sikersztori: A Union Pacific gázturbinások

A gázturbinás mozdonyokat legnagyobb számban az amerikai Union Pacific vasúttársaság üzemeltette, ahol volt olyan időszak, amikor a vontatási teljesítmény 10%-át ilyen gépek adták. A gőzturbinás mozdonyok kudarca miatt az UP még kereste a gőzmozdonyok felváltására alkalmas megoldást. A dízelek elméletileg jónak tűntek, de azok akkoriban csak személyvonatokat továbbítottak, és az akkori mozdonyok teljesítménye még jelentősen elmaradt a társaság hatalmas, 4-6-6-4 „Challenger”-jeinek és 4-8-8-4 „Big Boy”-ainak 6000 lóerejétől, ami miatt olyan tehervonatok elé, amelyeket emezek egyedül is vontatni tudtak, sokszor 4-5 dízelt is kellett akasztani. A háború utáni fejlődésnek köszönhetően több turbínagyártó cég is kínálni kezdett vasúti használatra alkalmas gázolaj- és nehézolaj fűtésű gázturbinákat. Az egyik ilyenrel épített prototípust, az GE-101-est 1948-ban állították csatasorba a Union Pacific-nél, és sikereinek köszönhetően még 3 újabb generáció követte. A vasúti gázturbinák gyártásában élen járt a General Electric, amely repülőgépturbinák átervezésével fejlesztette ki saját, nagyteljesítményű vasútiturbina-családját. Az Union Pacific pedig rájött, hogy kevesebb, de erős mozdony alkalmazásával a működési költségeken tud faragni, így ezek beszerzése mellett döntött. A GE-101-es tesztpéldányt hivatalosan sosem vette meg, de nagyon sokat futott a cég színeiben, besorolása UP-50 volt. A gép kinézetre az akkor divatos F-sorozatú, „piszeorrú” dízelekre emlékeztetett, de sokkal nagyobb volt azoknál és mindkét végén volt vezetőállás (ez nagyon ritka az amerikai vasutaknál). A lokomotív oldalán szokatlanul nagy levegőbeömlők voltak kialakítva a gázturbina hatalmas levegőigényének biztosítása céljából, ezeket egyenként lehetett kinyitni-bezárni az aktuális levegőfogyasztásnak megfelelően. A mozdony egyedi B+B-B+B tengelyelrendezésű, 8 hajtott tengelyű volt, melyek 4 kéttengelyes forgóvázba, a forgóvázak pedig páronként összekötve kerültek beépítésre. A kísérleti gázturbina 4800 lóerőt adott le, a vontatómotorok leadott összteljesítménye 4500 LE volt, kétszerese egy akkori dízelmozdonyénak. A főgépezet indítása hasonlított az Am4/6-oséhoz, bár annál valamivel bonyolultabb volt. Itt a kiegészítő dízelmotor a generátor forgatása mellett egyben egy gőzkazánt is működtetett, amire a mozdony főüzemanyagaként használt Bunker-C nehézolaj sajátosságai miatt volt szükség. Ez az üzemanyagfajta a gázturbinás mozdonyok megjelenéséig petrokémiai hulladéknak számított, így szinte ingyen adták az olajtársaságok az UP-nek. A nehézolaj – szobahőmérsékleten bitumenhez hasonló viszkozitása miatt – szivattyúzásra alkalmatlan volt, ahhoz, hogy be lehessen porlasztani a turbinába, először közel 100 fokos hőmérsékletre kellett felmelegíteni. A gőzkazán ezt a feladatot látta el. Mivel az üzemanyag felmelegítése hosszú időt vett igénybe, és a segéd dízel működéséhez egyébként is szükség volt rá, a mozdonynak külön gázolaj- és külön Bunker-C olajtartálya volt, és amíg utóbbi a szivattyúzási hőmérsékletet el nem érte, a turbina gázolajjal működött, csak azután álltak át olajtüzelésre.

A GE-101-es az akkori dízelmozdonyokhoz képest hatalmas, 24 méter hosszú, és üzemanyaggal együtt 230 tonna tömegű volt. A típussal az éppen akkor nyugdíjba készülő Big Boy-okat akarták kiváltani, ami egyébként a későbbi gázturbinásokkal sikerült is. A mozdonyok fő működési területének a Sziklás-hegységen átvezető Los Angeles-Salt Lake City

vasútvonal hatalmas tehervonatainak továbbítását szánták, de a GE-101-eseket zajos működésük miatt kitiltották Los Angeles-ből.

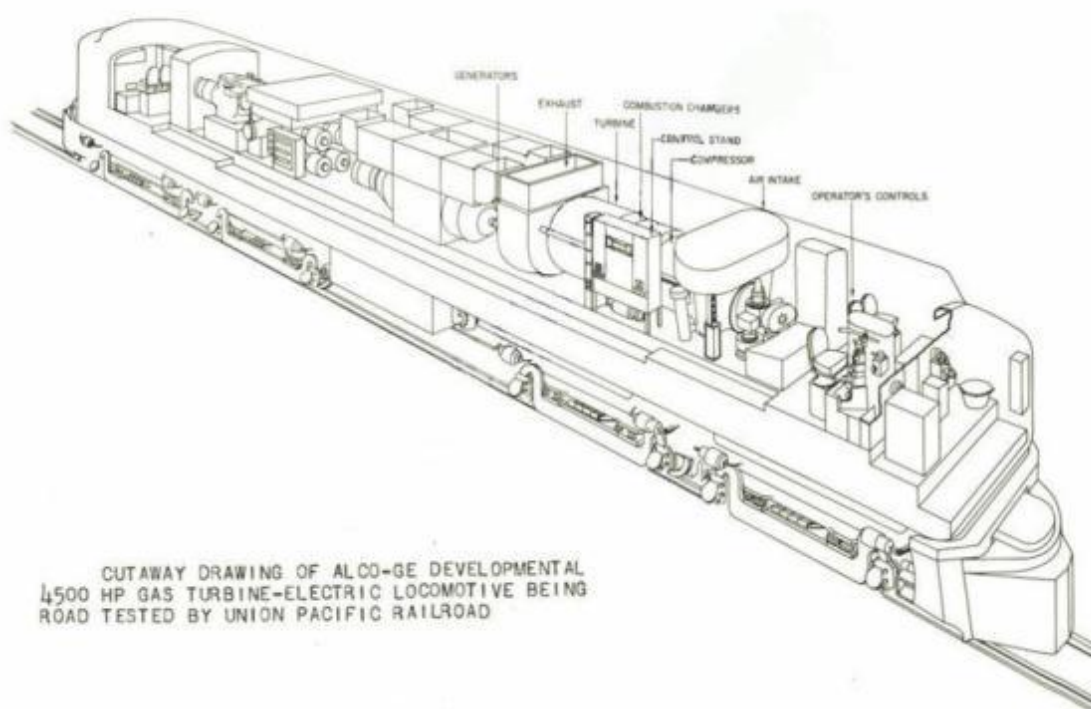
A „Texas-i Fekete Tea”: a Bunker-C tüzelőolaj

A Union Pacific gázturbináseit hajtó nehézolajok a kőolajlepirás utolsó melléktermékei közé tartoznak, alattuk már csak a motorhajtóanyagként nem hasznosítható bitumen, és a korom található. A Bunker-C olaj nevét a kikötőkben az üzemanyagok tárolására szolgáló széntartályokról (angolul coal bunker) kapták, mivel később ezt az anyagot is hasonló helyeken tartották. A viszonylag rossz minőségű tüzelőolajokat tovább osztályozták, a legjobbak A, B, C jelet kaptak (nehéz tüzelőolaj) az ezeknél rosszabb minőségűek kazánfűtő- és maradékolajok (furnace oil, residual oil) voltak. Ezek közül az itt is tárgyalt C-osztályú nehézolaj volt a leggyakoribb, a hajós köznyelvben az olaj kifejezést általában erre az üzemanyagra értették. A Bunker-C jellemzői nagyban eltérnek más olajszármazékokétól. Sűrűsége nagyobb a benzinénél vagy a gázolajénál (920 kg/m^3), fűtőértéke viszont sokkal rosszabb azokénál. Nagy kén- és víztartalma miatt égése sűrű, vastag, fekete füsttel jár. Kémiai szerkezete a dízelolajéra emlékeztet, hosszú, elágazó láncú (70 szénatomos, szemben a benzinek 5 szénatomjával) molekulákkal. A nagy viszkozitású, fekete színű anyag nem volt alkalmas gyorsjáratú motorok meghajtására, ezért csak kis fordulatszámú, nagy hengerűrtartalmú dízel-, illetve a régi gőzhajók tudták felhasználni. Az anyagot általában porlasztás előtt elő kell melegíteni, mert alacsony hőmérsékleten teljesen megszilárdulhat. Mivel a 70-es évekig más felhasználási területe nem volt, a Bunker-C olajat nagyon olcsón adták. 1970 előtt egy tonna ebből az üzemanyagból 14 dollárba került, azaz mai áron számolva egy liter olaj mindössze 10 forint volt! 1970 után a bitumenszerű tüzelőanyag ára 280 dollárra (!!!) szökkent fel, az olajválságok pedig még tovább srófolták az árát. A Bunker-C olaj ezzel ki is szorult a vasúti vontatás területéről, csak hajókban alkalmazták, azonban mára a kén-tartalomra vonatkozó, egyre szigorodó környezetvédelmi normák miatt ott is felváltották az ún. alacsony kén-tartalmú nehézolajok (LSMGO – Low-Sulphur Marine Gasoil).





Az UP-50-es kísérleti gázturbinás



A GE-101-es (UP-50) gépészeti elrendezése

A prototípus sikerei után 1953-ban vették állományba a tízdarabos, első generációs UP-gázturbinás (UP 51-60) mozdonyokat. Ezek a gépek hatalmas, 27 ezer literes olajtartályokban vitték magukkal a működésükhöz szükséges olajat (egy gázturbinás mozdony 4-szer annyit fogyasztott ebből, mint a korabeli, igaz kisebb teljesítményű dízel-villamos F-sorozat tagjai gázolajból). A sorozat egyik darabjához 1955-től hatótáv-növelés céljából még külön szerkocsit is kapcsoltak, ami nem kevesebb, mint 91 ezer liter olajat tudott felvenni. Összehasonlításképpen, az akkori, szintén nem kicsi amerikai dízelek maximum 8-10 ezer literes gázolajtartállyal rendelkeztek, a magyar dízelmozdonyok legnagyobbika, az M62-es 3900 litert tud feltankolni. Az első ilyen szerkocsit egy akkoriban selejtezett, 4-8-4 tengelyelrendezésű, nagyteljesítményű gőzmozdonyból alakították át. Ugyan az első generációsok többi tagja nem kapott ilyet, a következő, második generációs sorozathoz selejtezett gőzmozdonyok szerkocsijából átalakított olajvagonokat kapcsoltak, a harmadik generációt pedig már eleve ilyen kialakításúra tervezték.



Egy harmadik generációs UP gázturbinás hattengelyes szerkocsija

Az 53-as pályaszámú mozdonytól kezdve továbbfejlesztett levegőbeszívó rendszert alkalmaztak, az 57-es pályaszámú gépet pedig PB-gáztüzelésre alakították át, és külön kocsit is terveztek hozzá a sűrített gáz tárolása céljából. Ez az üzemanyag tisztábban égett, és jobb hatásfokot is eredményezett, de a nagy nyomás miatt annyira kényes volt a tárolása, hogy noha a gépet vissza már nem alakították, az utána következő 3 mozdonyt már az eredeti olajtüzeléssel építették meg. Szintén kísérleti jelleggel az 59-es és a 60-as pályaszámú mozdonyokat egy közös szerkocsival kötötték össze, ezzel egy kétgépes, háromszekciós, 9000 lóerős szörnyeteget hozva létre. A tesztek aztán abbamaradtak, mivel ekkor kezdték el a táv-

vezérlési rendszerek bevezetését, amelyekkel több mozdonyt egy mozdonyvezető is irányítani tudott, és így a gázturbinás gépeket akár hagyományos dízelekkel is össze lehetett kapcsolni. Ezenfelül a dupla gépek olyan hatalmas levegőigénnyel működtek, hogy a Sziklás-hegység több kilométeres alagútjaiban gyakran egyszerűen lefulladtak (a kialvás, angolul „flameout” akkor következik be, ha a turbina nem kap elég levegőt, és egyszerűen „megfullad”).



Az 52-es pályaszámú, első generációs, 4500 lóerős Union Pacific gázturbinás

Az UP második generációs gázturbinásait 1954-től helyezte üzembe. Ezek annyiban különböztek az első generációsoktól, hogy mindegyikhez járt a hatalmas, 91 ezer literes tartállyal felszerelt hattengelyes szerkocsi, az 53-as pályaszámú gép fejlettebb tetőszellőzőit kapták meg, illetve nagyméretű oldalsó járópallókat építettek rájuk, amely miatt a „Veranda” becenevet kapták a rajtuk szolgáló személyzettől. A 15 darabos széria (61-75) egyik tagja, a 61-es a távvezérléses tesztek résztvevője is volt, amely aztán sikerrel zárult, később az akkor a vasúttársaságnál szolgáló 25 gázturbinás gépből 19-et alakították át többes vezérlési lehetőségre.



UP-74 „Veranda” szerkocsival

Az 1-től 30-ig tartó pályaszámsorozatot megkapó harmadik generációs mozdonyok 1958 és 1961 között kerültek a vasúttársasághoz. A sorozat képviselői nagyban különböztek elődeiktől. Az első- és második generációtól eltérően, melyek egyszekciósok voltak, az új mozdonyok két, állandóan összekapcsolt részegységből álltak, és a korábbi B+B-B+B tengelyelrendezés helyett minden szekció két, háromtengelyes forgóvázon nyugodott (C-C+C-C). A minden képzeletet felülmúlóan hatalmas mozdonyszerelvénnyel szerkocsi nélkül (!!!) 410 tonnát nyomtak, és több mint 50 méter hosszúak voltak! Hatalmas hangjuk miatt a mozdonyvezetők a „Big Blow” (magyarul kb. Nagy Fúvó) becenévvel illették őket. Nem véletlenül, hiszen ezekbe már továbbfejlesztett, így nem kevesebb, mint 8500 lóerős gázturbina került, amellyel a 12 hajtott tengelyű gépek 1100 kN vonóerőt tudtak kifejteni, ami azóta is rekord. A szerkocsi mellett az első mozdonszekció tartálya további 9500 liter gázolajat tudott magával vinni, amelyre a turbina indításakor, illetve a 850 lóerős segédűzemeltetések voltak szükség. A mozdonyok két szekciója nem volt ugyanolyan. Először is vezetőállása csak az első „A” szekciónak volt, ebben foglalt helyet a dízelmotor, az egyéb segédüzemi berendezések, és a villamos vezérlőrendszer. A vezetőállás nélküli „B” szekció tartalmazta a turbinát és a generátort, és ehhez kapcsolták a szerkocsit is. A továbbfejlesztett turbina már érzékenyebb volt az üzemanyagra, ezért beporlasztás előtt az olaj egy szűrőn haladt keresztül, ez azonban olyan hamar eltömődött, hogy új megoldás után kellett nézni. Végül a vasúttársaság úgy döntött, hogy a Bunker-C olajat már tankolás előtt szűri, ezzel a komplikációk megszűntek. A harmadik generációs UP gázturbinások addig soha nem látott vontatási teljesítményekre voltak képesek. Normál üzemüknek szerves részét képezte a 12 ezer tonnás vonatok

továbbítása a Sziklás-hegység meredek emelkedőin, de vontatási táblázatuk szerint még az elképzelhetetlenül óriási, 734 vagonból álló, 11 kilométer hosszú, és nem kevesebb, mint 75 ezer (!!!) tonnás óriásvonatok elhúzására is képesek lettek volna 19 km/h-s sebességgel! Ugyan erre nem volt példa, de szállítási teljesítményüket semelyik más mozdony még csak megközelíteni sem tudta akkoriban, és ezen előnyök mind a gázturbinának köszönhetőek.



Union Pacific harmadik generációs, 8500 lóerős „Big Blow”

A gázturbinás mozdonyok végzetét ugyanaz okozta végül, ami legnagyobb előnyüknek bizonyult kezdetben: a műanyagipar felfutása miatt a Bunker-C olajat műanyaggyártásra kezdték felhasználni, illetve felfedezték, hogyan lehet belőlük további finomítással más üzemanyagokat gyártani, ami nagyon felnyomta az árakat. Mivel a mozdonyok óriási étvágya (a „Big Blow”-k gyomrában „teljes gázon” óránként 2400 liter – azaz másodpercenként 6,5 deci (!!!) tűnt el a kátrányszerű anyagból) drágább tüzelőanyaggal már gazdaságtalanná tette volna az üzemeltetésüket, a vasúttársaság kivonta őket a forgalomból. A második generációs mozdonyok 2+2-es forgóvázait és vontatómotorjait a felváltásukra érkezett nyolctengelyes, 5000 lóerős GE U50C, a harmadik generációsok egyes részegységeit pedig a 6 tengelyes U50-es dízelmozdonyok kapták meg. 1970-ben az utolsó ilyen gépet is selejtezték, az utókornak 2 példányt őriztek meg: a 18-as az Illinois-i Közlekedési Múzeumban, a 26-os a korábbi honállomásukon, az Utah állambeli Odgen városának vasútállomásán van kiállítva. A szerkocsikat vagy mobil vízvételző helyekké építették át, vagy még üzemben levő gőzmozdonyok kiszolgálására alakították vissza. Ezzel véget is ért a gázturbinás mozdonyok Union Pacific-es pályá-

futásának 22 éves története, és egyben fénykora, az 1973-as olajválság pedig végleg megghiúsította a további fejlesztéseket.

Egy érdekes oldalhajtás: UP szénportüzelésű gázturbinás mozdony

Megemlítenéd még a Union Pacific saját próbálkozása egy szénportüzelésű gázturbinás mozdony építésére. A kísérleti példányt egy ALCO FA-sorozatú, piszeorrú gép elejéből, és egy hatalmas, 31 méter hosszú, régi típusú, Great Northern-nél szolgált, de selejtezett W-1 típusú villanymozdonyból készítették. A kísérleti gázturbina a harmadik generációs UP-mozdonyokban is dolgozó egység széntüzelésre átalakított változata volt. A turbinában helyet kapott egy szénporító- és adagoló berendezés, amely a szénport egyenesen az égéstérbe jutatta. A gép 1961 októberében állt forgalomba és a 80-as majd – mivel ilyen pályaszámú gép már volt a vasútnál – 8080-as pályaszámot kapta. A kétszekciós mozdony „alkotóelemei” eredeti tengelyelrendezése miatt a nagyon szokatlan A1A-A1A+2D-D2 elrendezést kapta, 18 tengelyéből 12 volt hajtott. Az ALCO dízel 2000 lóerős motorja megmaradt, a turbina a villanymozdony szekrényébe került. Szénportüzeléssel 5000 LE teljesítményt tudott kifejteni, így a mozdony összteljesítménye 7000 lóerő lett. Sajnos a szénportüzelés nem vált be, mert a szén nem lehetett tökéletesen összezúzni, és a kis széndarabok nagyon gyorsan erodálták a turbinalapátokat, így a gázturbina mindössze 16 ezer kilométeres tesztüzem után tönkrement. A kísérlet abbamaradt, az FA-dízelmozdonyt visszaalakítva eladták egy másik vasútársaságnak, míg a turbinás szekciót selejtezték, majd szétvágták 1968-ban.



UP 8080-as pályaszámú, kétszekciós kísérleti szénportüzelésű gázturbinás mozdony

Gázturbinások a Szovjetunióban

A Szovjetunióban, az 50-es évektől próbálkoztak meg a gázturbinák vasúti adaptálásával. Az első kísérlet 1959-ben vette kezdetét. A terv egy kétszekciós C-C+C-C tengelyelrendezésű tehervonati mozdony megalkotása lett volna, de a G1-01 típusú gázturbinásból végül csak az egyik szekció készült el, amivel egészen a 70-es évek elejéig zajlottak a próbák, későbbi sorsa ismeretlen. A másik, már sikeresebb konstrukció, a GP-1 nevet kapó, szintén kétszekciós, 12 tengelyes mozdony volt, melynek tesztelése 1964-ben kezdődött. Végül csak két egység készült el, melyek GP-0001 és GP-0002 besorolást kaptak. A gépek menetrendi üzemben is dolgoztak, maximális teljesítményük 3500 LE volt.



Szovjet kísérleti gázturbinás mozdonyok: balra a G1-01, jobbra a GP-1 típusú gép

Brit gázturbinások – BR-18000 „Kerosene castle”

Nagy-Britanniában is több, menetrendi üzemet is végző gázturbinás is szolgált. Az elsőt, a BR-18000-es típust 1946-ban rendelte meg a Great Western Railway (GWR) a svájci gázturbinás mozdonyt is gyártó BBC-től. A világháborút követő anyagihiányos időszak hátráltatta az építést, de 1949-ben sikerült átadni a mozdonyt a vasutaknak. A megrendelő azért döntött emellett a hajtás mellett, mert akkoriban még nem volt megfelelő teljesítményű dízelmozdonya, legnagyobb teljesítményű vontatójárművei a 2500 lóerős King-osztályú gőzösök voltak, de azok már megérték a cserére, a legnagyobb teljesítményű dízelek pedig feleannyit tudtak. A GWR ezzel a géppel akart változtatni ezen a vonóerő-hiányos helyzeten. Az új mozdony szintén 2500 lóerős volt, maximum 145 km/h-val tudott haladni, és 120 tonnát nyomott, amivel jobb volt a korabeli gőzmozdonyoknál. Két háromtengelyes forgóvázának középső tengelye hajtás nélküli volt, a mozdony turbinája a gőzmozdonyok által is használt pakura tüzelésre lett felkészítve, amely jóval olcsóbb volt a gázolajnál. Szintén helyet kapott a fedélzetén egy kis teljesítményű kiegészítő dízelmotor, amely a turbina rendelkezésére állásáig önmagában is mozgatni tudta a mozdonyt. Ez azért is volt lényeges, mert a fedett londoni Paddington állomáson egyébként sem szabadott a vastag, bűdös pakurafüstöt okádó, lármás működésű gázturbinát használni. A mozdony így kis sebességgel kihúzott az állomásról, ezalatt a gázturbina is fel tudott pörögni, majd azt beindítva érték el az utazósebességet. Addig a kislevegű dízelmotor használatával jelentős üzemanyag-megtakarítást értek el. A BR-18000-es sorozattal sok probléma adódott. A pakura égése után megmaradó

hamu nagymértékben károsította a turbina lapátjait, és az égéstérrel is több gond volt. A mozdony villamos vezérlőrendszere nagyon komplikáltnak bizonyult az akkori gőzösök egyszerű elektromos rendszeréhez szokott karbantartóknak. Ez odáig fajult, hogy amikor az egyik vontatómotor elromlott, már nem javították meg, csak kiszerezték, és a mozdony onnantól kezdve 3 motorral üzemelt, így teljes teljesítményét már nem tudta leadni. A gázturbina a vártnál sokkal nagyobb fogyasztást produkált, és itt is előjött ennek a meghajtásnak a hátránya, a részterhelésen gazdaságtalan működés. A háború által megviselt brit pályákon a 145 km/h-s sebességre képes mozdony ritkán tudta kihasználni végsebességét, márpedig a turbina csak annak közelében tudott megfelelő üzemanyag-fogyasztással működni. A 3 motorral való üzemelés csak rontott ezen, hiszen ekkortól kezdve már elméletileg sem lehetett a turbinát maximális teljesítményén használni. A pakuratüzelés problémái miatt az addig drágasága miatt csak a segédűzel üzemeltetéséhez használt világítóolaj lett a gázturbina főüzemanyaga, (innen a gép beceneve: „Kerosene castle” azaz „kerozin kastély”) ami csak tovább emelte a gép üzemeltetésének költségeit. A rossz tervezés miatt a forró kipufogó körüli rész egy alkalommal kigyulladt, és majdnem leégett az egész mozdony. A sorozatos problémákra hivatkozva a sorozatot 1960-ban selejtezték, és 4 évig Swindon-ban tárolták. Ezután a Nemzetközi Vasútszövetség vásárolta meg, majd dízelmozdonyrá alakítva kerék-sín tapadási tesztekhez végezt vele még 10 évig. Ezután már nem üzemelt tovább, Bécsbe került, a Technikatörténeti Múzeumba, majd 2010-ben újra vissza az Egyesült Királyságba, ahol egy mozdonybemutatón vett részt. 2011 nyara óta magántulajdonban van, kiállítva a Didcot Vasúti Múzeum udvarában, sajnos jelenleg üzemképtelenül.



BR-18000

BR-18100, a „nagy testvér”

A GWR két évvel a 18000-es típus beszerzése után annak továbbfejlesztett, 18100-as változatából is vásárolt egy darabot. A 18100-as több dologban is különbözött elődjétől. Teljesítménye 3000 lóerő volt, és 4 helyett 6 hajtott tengellyel rendelkezett. A továbbfejlesztett gázturbina pakura helyett kerozint használt tüzelőanyagként, ezzel megoldva a hamuképződés problémáját, ám jóval drágábbá téve az üzemeltetést. A gázturbina 3 generátort hajtott meg, melyek egyenként 2 vontatómotor energiaellátását biztosították, illetve külön kiegészítő generátor felelt az akkumulátorok megfelelő töltöttségi szintjéért. Ez azért volt fontos, mert a 18100-asba már nem került dízelmotor, hanem az akkukban tárolt energiával pörgette fel a turbinát (ekkor a generátorokat indítómotorként használták), illetve ezzel jutott megfelelő távolságra a zajszintre érzékeny lakott területektől. A 18100-ast ugyanazok a problémák sújtották, mint elődjét: nem lehetett kihasználni maximális sebességét, így rossz hatásfokkal üzemelt és drága kerozintüzelése miatt fenntartása még a 18000-esnél is drágább volt. Emiatt annál hamarabb, 1958-ban kivonták a forgalomból, és a swindoni telepen tárolták. 1959-ben aztán villanymozdonnyá alakították át, amelyként még 9 évig üzemelt, egészen 1968-as selejtezéséig. A kétéleltű típus végül 1972 novemberében került lángvágó alá.



BR-18100-as a gyárban, 1950-ben

Oroszország gázturbinás mozdonyai – egy új korszak kezdete

A UP gázturbina-elektromos mozdonyainak selejtezése, és az 1973-as arab olajválság sokáig hátráltatta a hajtás elterjedését, annak előnyeit csak a közelmúltban fedezték fel újra. Oroszországban a nagy távolságok miatt nagyon erős mozdonyokra van szükség, és az itt alkalmazott széles, 1520 mm-es nyomtáv még robusztusabb konstrukciók építését teszi lehetővé. 2006-ban az orosz vasutak már beszerzett egy GEM-10 típusú, hattengelyes, gázturbinás tolatómozdony típust, majd később annak továbbfejlesztett, kétszekciós, B-B+B-B ten-

gelyelrendezésű, nyolctengelyes változatát, a TGEM-10-0001-et. A vasutak legutóbbi ilyen beszerzése azonban nem ez, hanem a 2007-ben vásárolt nagyteljesítményű, szintén kétrészes GT1-001-es volt. A minden eddiginél nagyobb teljesítményű, nem kevesebb, mint 11 100 lóerős, folyékony földgáz (Liquified Natural Gas – LNG) tüzelésű, 12 tengelyes egységek feladata a hatalmas, 15-16 ezer tonnás konténervonatok vontatása. A gépekből akár hármat is lehet távvezérelt üzemben használni, ezzel a leghatékonyabb vontatójárműveknek számítanak a vasúttársaságnál. A hatalmas teljesítményű mozdonyok ezen felül a gázturbinás hajtás reneszánszát is jelenthetik a vasúti vontatásban.



A 11 ezer lóerős, kétszekciós, LNG-tüzelésű GT1-001-es tehermozdony

A mechanikus meghajtású BR GT3 – Egy gőzmozdony újjászületése

Ugyan nem tartozott a villamos meghajtású gázturbinások közé, de mindenesetre érdekes próbálkozás volt a Brit Vasutak (BR) GT3 nevű mozdonya. A gépet a híres angol dízel-villamos mozdonyokat (például a 3300 lóerős, deltamotoros Deltic-et) gyártó Vulcan mozdonygyár készítette és valamivel a másik két BR-gázturbinás mozdony után, 1961-ben vette át a vasúttársaság. A konstrukció nagyban különbözött a világ többi ilyen hajtású mozdonyától. Az alapját egy, korábban szintén a brit vasutaknál szolgáló BR 5-ös osztályú, „Black Five” becenévű, 4-6-0-s gőzmozdony adta, melynek felépítményét nagy fémburkolattal tették áramvonalassá, és erősítették meg a gázturbina nagy nyomatéka miatt. A mozdony egy EM27L típusú, 2700 LE teljesítményű gázturbinát hordott a kazánja helyén, amely nem generátorokon és villanymotorokon, hanem csigahajtáson keresztül forgatta a 3 hajtott tengely

közül a középsőt, amely csatlórudakkal volt összekapcsolva a többivel. A szerkocsiban tárolták az üzemanyagul szolgáló gázolajat. A futurisztikus gőzmozdonyra hasonlító szerkezet végsebessége 145 km/h, tömege 130 tonna volt, és látványos rozsdavörös-csokoládébarna színezése csak még egyedibbé tette. A GT3-as elejében nagyszámú savas ólomakkumulátor kapott helyet, amelyek a gázturbina felpörgetéséhez szükséges energiát tárolták. Külön ventilátor felelt az akkuk töltése során keletkező gyúlékony hidrogéngáz eltávolításáért. A vezetőállás nagyon igényes kivitelű, akkor példa nélkül álló padlószőnyeg borítású volt, amely miatt a fűtőház személyzete nem egyszer inkább ott fogyasztotta el az ebédjét az ebédlő helyett! Az előkészületek 10 éves csúszása sajnos megpecsételte a sorozat karrierjét. Az első tollvonások és a kész mozdony átvétele között eltelt időben ugyanis olyan fejlődésnek indult a dízelmozdony-gyártás, hogy a GT3-ast már elkészültekor megelőzte a kora. Egy gőzmozdony alapokra épült sorozatnak egyébként sem lehetett volna hosszú pályafutása a 60-as években. Ezt még tetézte, hogy rossz kanyartulajdonságai miatt – nem tudott szűk íveket bevenni – az íves peronú állomásokról való indulását komoly balesetveszély kísérte, mert a mozdony sarkai gyakran beleszántottak a peronjárdába! Ezt a kockázatot pedig nem engedhette meg a vasúttársaság, ezért 1962-ben visszaadta a gyártónak, aki egy pár évig a tervezőiroda melletti vakvágányon tárolta, majd használhatóbb egységei értékesítését követően 1966 februárjában megszabadult tőle. A BR a GT3-asnak szánt feladatot nagyteljesítményű, 3300 lóerős dízel-villamos mozdonyokkal oldotta meg a későbbiekben.



GT3-as személyvonattal

GÁZTURBINÁS MOTORVONATOK

A gázturbinákat azonban nemcsak mozdonyok, hanem később motorvonatok erőforrásaként is alkalmazták. Mivel az ilyen vonatokat eleve ritkán megálló, és nagy utazósebességű járatoknál akarták bevetni, a turbina részterhelésen mutatott rossz hatásfoka kevésbé tűnt zavarónak, viszont az olcsó üzemeltetés, a jó teljesítmény/tömeg arány, és mindeneke-lőtt a kisebb méret alkalmassá tette ezeket a gépeket a motorvonatokba való beépítésre. A gázturbina-elektromos hajtás itt is leggyakoribb megoldás volt, de alkalmaztak hidraulikus, és ritkábban mechanikus, fogaskerekes erőátvitelt is. A gázturbinás motorvonatok hajnala kicsit későbbre tehető a mozdonyokénál, az 50-60-as években kezdtek ilyen szerelvényeket közlekedtetni a vasúttársaságok, főleg gyors- és exkluzív expresszvonatokként. A hatalmas tehermozdonyokhoz képest kis teljesítményű, ezért kis fogyasztású, de gyors vonatokat az olajválság káros hatásai sem érintették akkora mértékben, ezért – bár nem nagy számban – ma is közlekedik belőlük néhány, sőt a mozdonyokhoz hasonlóan ezeknek a piacán is fellendülés várható az elkövetkező években.

Döngetett, Mylord? - a gázturbinás APT-vonat

Angliában az 50-es években kezdték el a hajtással való kísérletezgetést. Mozdonyba beépítve több gázturbina is teljesített szolgálatot az országban, de ezek – mint az a BR-18000 és 18100 típusoknál látszott – nem hozták meg a várt áttörést. A 60-as években a BR szeretett volna egy minden eddiginél gyorsabb, de könnyű, és nagy befogadóképességű motorvonat konstrukciót a nagysebességű városközi (InterCity) közlekedés fellendítésére. Ez az igény új lökést adott az országbeli gázturbinás kísérleteknek: megszületett az APT (Advanced Passenger Train – Fejlett személyszállító vonat) motorvonat konstrukció. A vonat prototípusa az APT-E (Experimental – kísérleti) nevet kapta, négy részből állt; két motorkocsi az elején és a végén, közöttük két mellékkocsi. A két gépes egységben egyenként 4 darab 300 (később 330) lóerős fő- és egy segédüzemek energiaellátását szolgáló kiegészítő gázturbina foglalt helyet, mindkét motorkocsiban 2 vontatómotor dolgozott. A vonat teljes egészében alumíniumból készült, és a szekciók között közös forgóvázak voltak beépítve, amivel csökkentették a kerekek számát és így a súrlódást. A tesztek 1972-ben kezdődtek meg. Rögtön az első tesztkör után nagy viták pattantak ki; a mozdonyvezetők kifogásolták, hogy a vontatófej vezetőállása egy személyre volt tervezve, így a segéd-mozdonyvezetőnek nem volt helye. A masinisták és a gyártó között zajló csatározások egy évvel hátráltatták a kísérleteket, a vonat legközelebb csak 1973-ban indult útjára. A tesztüzem sikeresnek bizonyult, 1975-ben a GWR vonalán a szerelvény 245 km/h sebességgel felállította az angol gázturbinás vasúti vontatás sebességrekordját. A próbák 1976 júniusában értek véget, de a sorozat karrierjét azonnal derékba törte, hogy a főgépeket gyártó British Leyland közben felhagyott a turbinagyártással. Így a jó kezdést produkáló, rekordot is döntő vonat soha nem szállított egyetlen fizető utast sem. Az APT-motorvonat ugyan megvalósult később, ám már 25 kV, 50 Hz villamos szerelvényekkel.



Az APT-E gázturbinás kísérleti motorvonat vontatóegysége

A francia TurboTrain-ek: 40 év siker

A sajnos kudarcba fulladt brit testvérénél sokkal sikeresebb volt a francia TurboTrain, amit a mai napig a legsikeresebb gázturbinás vonatnak tartanak. Közel 40 évig, 1967-től 2004-ig szolgáltak a francia vasutaknál (SNCF), amely azután az Iráni Vasutaknak adta el őket, ahol a mai napig üzemben vannak. Az első, kísérleti egység, a TurboTrain TGS 1967-ben kezdte el próbaüzemeit, 1971-ben 252 km/h-s sebességet ért el.



A TurboTrain-ek prototípusa a TGS 1967-ből

A sikeres teszteknek köszönhetően a vasúttársaság 1971-től városközi gyorsvonati szolgálatra meg is rendelte az első generációs TurboTrain-eket melyeknek így vagy úgy további három generációja szolgált a világban. Az első generációs vonatok négyrészes, 188

ülőhelyes egységek voltak, melyek egyik végén gázturbinás, a másik végén pedig dízelmeghajtású hajtóegység dolgozott.



A TurboTrain 1000-es sorozat

Ezeknél híresebbek voltak az 1972-től üzembe helyezett ötrészes, már tisztán gázturbinás második generációs TurboTrain-ek, amelyekből az SNCF 13 darabot rendszeresített. A gépes motorkocsikban két darab 1040 LE teljesítményű fő- és két darab 400 lóerős segéd-turbina kapott helyet. Mindkettő külön, 3500 literes gázolajtartállyal rendelkezett, a főgépek összesen óránként 430, a segédturbinák pedig 150 liter gázolajat fogyasztottak. A meghajtó gázturbinák mindegyike Voith hidrodinamikus hajtóművön keresztül hajtotta meg a kerekeket, a mellékturbinák pedig generátorokat forgatva termelték a vezérléshez, a légkondicionáláshoz és a világításhoz szükséges áramot. A vonat elektropneumatikus és elektromágneses fékrendszerrel is fel volt szerelve, minden tengelyén tárcsafékekkel. Szolgálatuk kezdetén a nagy forgalmú, de villamosítatlan Lyon-Strasbourg és Nantes-Bordeaux vonalakat szolgálták ki, amelyeken azonban nem tudták kihasználni maximális, 160 km/h-s sebességüket (a vonalon 120 km/h korlátozás volt érvényben). Elődeik a Párizs-Caen és Párizs-Cherbourg vonalakon dolgoztak, amelyek kiszolgálása nagy feladat volt számukra. Így nemsokára a második generációs szerelvények is odakerültek, ahol megmutatkozott erejük, és megbízhatóságuk. Az 1973-ban beütő olajkrízis miatt az SNCF fővonalainak nagy részét villamosította, illetve a további tervezett TurboTrain-ek megrendelését visszamondta. A növekvő forgalmat nehezen kiszolgáló gázturbinás vonatokba 1981-től egy hatodik vagont is besoroztak, így növelve befogadóképességüket. A második, 1979-es olajválság során a motorkocsik erősebb, de alacsonyabb fogyasztású Turmo XII típusú gázturbinákat kaptak, összteljesítményük ezzel 2080-ról 3100 lóerőre nőtt. Ezzel egyidőben többes vezérlésre is átalakították őket, így 2 szerelvényt is tudott irányítani egy mozdonyvezető. A Nantes-Bordeaux vonal villamosításával a

TurboTrain-ek a gázturbinások számára egyébként is kedvezőbb, meredek emelkedőkkel tarkított, nagysebességű Lyon-Nantes vonalra kerültek, ahol ismét bizonyítottak erejükkel. A vasúttársaság a 90-es években a dízelmozdonyos vonatok mellett tette le a voksát, így a TurboTrain-ek még több helyről kiszorultak, noha kétirányú közlekedésre alkalmas voltak miatt sok időt lehetett velük megtakarítani, ha irányt kellett váltani. 1996-ban már csak 10 darab vonat volt szolgálatban, felettük kezdett eljáráni az idő. A 2000-es éveket már csak 6 szerelvény érte meg, amelyek 2004 végén vonultak nyugdíjba, és Iránnak lettek eladva, ahol máig szolgálnak. A T-2057-es pályaszámú vonat Francia Nemzeti Közlekedési Múzeumban van kiállítva. A TurboTrain-ekből külföldre is jutott, módosított változatuk (harmadik generáció) az amerikai Amtrak vasúttársaság vonalain teljesített szolgálatot Turboliner néven, néhány példányt pedig 1974-ben Iránnak szállítottak le (2008-ban dízelüzeműre lettek átalakítva).



TurboTrain 2000

A negyedik, nagysebességű generációval 1972-ben indultak meg a próbaüzemek. A gázturbina-elektromos meghajtású szerelvényeket az Alstom építette meg, és egy 300 km/h-s sebességű motorvonat család kezdetének szánták. A prototípusból 2-t terveztek, de végül egy épült csak meg, a második, fejlettebb meghajtást, és ívbillentő mechanizmust is tartalmazó egység gyártása megghiúsult. A vontatófej mind a négy tengelye hajtott volt, és az egyes kocsik közé Jacobs-típusú (közös) forgóvázak kerültek beépítésre. A próbaüzemek során a prototípus 318 km/h sebességet elérve felállította a gázturbinás hajtás máig tartó se-

bességrekordját. Noha sikeresnek bizonyult a típus, a tesztek végével pont egybeeső olajválság lehetetlenné tette a nagysebességű, nagyfogyasztású motorvonat üzembeállítását. Mégsem lett méltatlanul elfeledve; a prototípus neve ugyanis bizonyos TGV-001 volt, teszt eredményei a későbbi TGV villamos motorvonatok alapjául szolgáltak, ezzel közvetve megváltoztatták az utazóközönség és a világ közvéleményének a modern vasútról alkotott fogalmait. Az immár villamos szerelvények tesztelése 1978-ban folytatódott, a többi már – ahogy mondják – történelem...



Balra: A TGV-001-es kísérleti gázturbinás motorvonat. Jobbra: A TGV motorvonatok legújabb generációja: az AGV. Utazósebessége 360 km/h, teljesítménye 16 000 LE. 2012-től áll forgalomba Olaszországban Nápoly és Milano között

Észak-amerikai gázturbinások: Kanada

Amerikában is jelentős története van a gázturbinás motorvonatoknak. Az egyik első típus, az UAC TurboTrain (amelynek nem volt köze műszakilag a francia vonalakon szolgáló TurboTrain-ekhez) 1968-tól 1984-ig közlekedett az USA-ban és Kanadában. Az UAC motorvonatokban hat darab, egyenként 400 lóerős, repülőgépekben használt Pratt & Whitney Canada PT6 típusú gázturbina dolgozott, mechanikus erőátviteli berendezéssel. Egy hetedik ugyanilyen turbina felelt az vonatok áramellátásért. A főgépek egyenként mindössze 136 kilót nyomtak, amivel sokkal könnyebbek voltak egy hasonló teljesítményű dízelmotornál. A – világon először vágányívsugár-függéses szekrénybillentő mechanizmussal felszerelt – prototípus szerelvény 1967 végén 275 km/h sebességet ért el, ezzel sikeres lett a próba. 1968-tól fokozatosan üzembe állt az 5 darab hétrészes, többes vezérlésre is alkalmas vonat. Kanadában az első sajtóbemutatót 1968 decemberében, nagy nyilvánosság előtt tartották, azonban az újságírókat szállító TurboTrain összeütközött egy teherautóval. Senki nem sérült meg a balesetben és a karambol még jól is tett a TurboTrain hírnevének; alumíniumvázaz felépítése miatt ugyanis balesetveszélyesnek gondolták a korabeli szakemberek, azonban az ütközésben a mozdonyrész elejében helyet foglaló gázturbinák köré épített vastag tartóoszlopok felfogták az energiát. A szerelvények menetrend szerinti üzemben 170 km/h-s hihetetlen átlagsebességgel közlekedtek, egy alkalommal az egyik vonat 230 km/h-s sebességet ért el, ez a mai napig rekord Kanadában. A TurboTrain-ek az országban 1982-ig közlekedtek, túlélve az olajválságokat. Akkor azonban az üzemeltető CN vasúttársaságot megvásárolta a Via Rail társaság, ami a gazdaságosabban fenntartható dízel-villamos mozdonyokat tartotta megfelelőbbnek a feladatra. A gázturbinás gépek felváltására rendelt, szintén szekrénybillentő mec-

hanizmussal ellátott LRC dízelek a mai napig üzemben vannak, ám üzemképességük messze elmarad az egykor 97%-os megbízhatósági mutatókkal büszkélkedő TurboTrain-ek mögött.



A kanadai CN TurboTrain

USA

Az USA-ban 1968-tól háromrészes elrendezésben álltak szolgálatba az UAC motorvonatok, majd 1972-ben ezeket ötrészesre bővítették. Menetrendi üzemben 160 km/h-s átlagsebességükkel nagyon lecsökkentették az utazási időt, és modern kinézetük az utazóközönség tetszését is elnyerte. Sajnos a növekvő olajárak miatt, a járműveket 1984-ben normál dízelmotorvonatokra cserélték, azonban 2002-ben a Bombardier cég által gyártott újgenerációs, nagysebességű 240 km/h sebességre képes gázturbinás motorvonatok tesztelés céljából ezeken vasútvonalakon is megfordultak, egy kis időre visszahódítva azokat. A JetTrain nevű szerelvényekről a későbbiekben lesz szó.



Az UAC TurboTrain egy háromkocsis szerelvénnel

Francia bevándorlók – a TurboTrain-ek amerikai változatai: A Turboliner-ek

A már említett, Amerikának gyártott francia TurboTrain változatok, a Turboliner-ek apróbb változtatásokkal kerültek a tengerentúlra, ahol felújítva ma is üzemben vannak. Az amerikai Amtrak vasúttársaság 6 darabot lízingelt ezekből a motorvonatokból, amelyek

1973-tól közlekedtek Chicago és New York között, és francia társaiktól eltérően étkezőkocsit is továbbítottak. Az olajválság hatására kicserélték a gázturbinákat nagyobb teljesítményű, és nagyobb hatásfokú gépekre, valamint átalakították a vezérlést úgy, hogy a vonat csak az egyik turbinát járattva is képes legyen közlekedni. A segédturbinákat kisméretű turbódízelekkel helyettesítették, ezzel tovább csökkentve a fogyasztást. A középnyugati vasutakon szolgáló Turboliner-ek új, modernebb orrot kaptak, de ezek a felújított változatok az egyik példány New York-i tűzesete után le lettek állítva. A motorvonatok egy másik részét 1995-ben RTL-II néven felújították, esztétikusabb belsőt, digitális vezérlést, és az eredeti 380 helyett 480 voltos generátort adva nekik. A már említett New York-i tűzeset után a kettő közül az egyik átalakított RTL-II-est is leállították, a másik 2002 végéig szállította az utasokat. A leállított példányok komplett felújításon estek át 2001-ben, mely során engedélyezett sebességüket 200 km/h-ra emelték. Az új vonatok 2003-tól üzembe álltak, azonban mivel az Amtrak és New York önkormányzata közötti szerződésben szereplő 7+1 darab szerelvény nem készült el, utóbbi peres útra terelte az ügyet. A pereskedés 2007-ig tartott, végül peren kívül megállapodtak, hogy amennyiben New York biztosítja a vonatok számára a 200 km/h-ra engedélyezett vasúti pályákat, úgy az Amtrak közlekedtetni fogja rajtuk a felújított (RTL-III számot kapott) Turboliner-eket.



Az eredeti (balra fent), az RTL-II-es (jobbra fent), és a felújított RTL-III-as Turboliner (lent)



Bombardier JetTrain – A modern gázturbinás vasúti jármű

A tesztüzem céljából Amerikában járó Bombardier gyártmányú JetTrain-ek korábban már említésre kerültek. A jelenleg az Egyesült Államok egyetlen nagysebességű motorvonatának, az Acela-nak a mozdonyszekrényébe épített billenőszekrényes gázturbinás egység

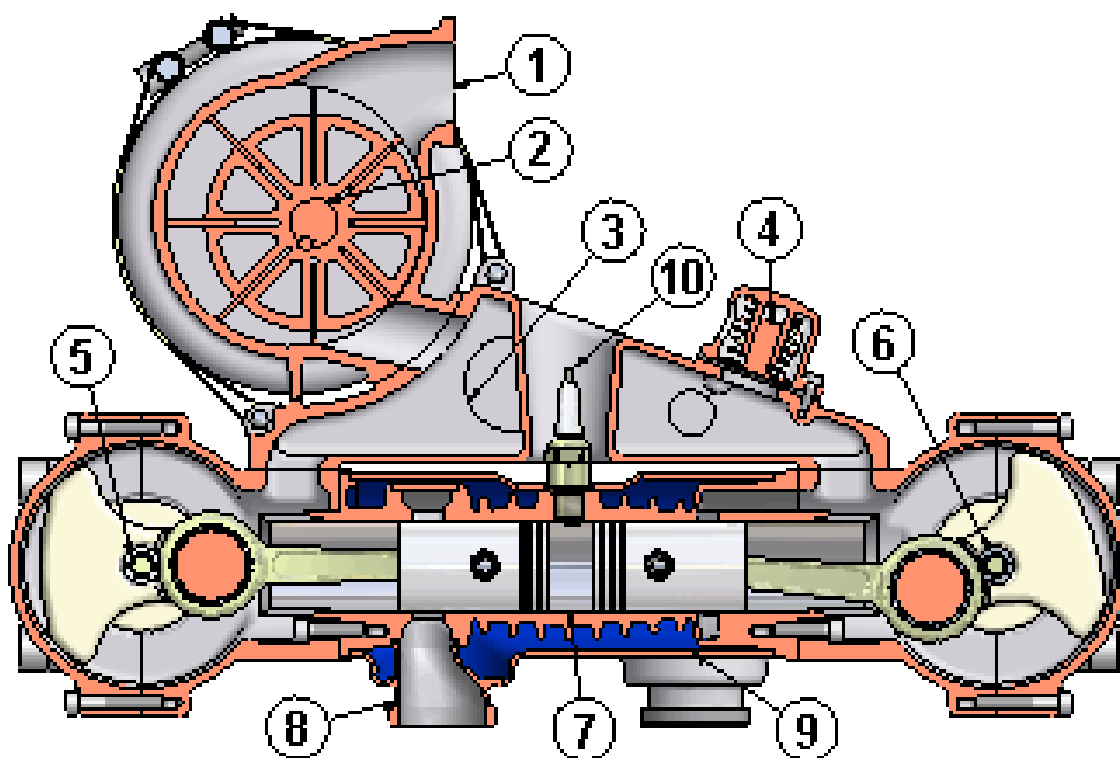
több újítást is tartalmaz, melyekkel sikerült kiküszöbölni ezen hajtás legtöbb hátrányát. A vonat főgépeként használt 5000 lóerős Pratt & Whitney Canada PW150 típusú, petróleumtüzelésű gázturbina mellett egy normál dízelmotor is dolgozik a mozdonyban, ez azonban nemcsak alacsony, hanem közepes sebességekig is fel tudja gyorsítani a vonatot, amivel nagyon sok üzemanyagot lehet megtakarítani. 50 km/h sebességig kizárólag a dízel hajt, onnantól veszi át az irányítást a gázturbina, mellyel egyébként 240 km/h-s utazósebességet is lehet tartani, de az egyik próbaszerelvény 298 km/h-ig gyorsult. A gázturbinák mind a négy tengelyt hajtják generátorok, és az Acela Express-nél már bevált váltóáramú aszinkron vontatómotorok segítségével. A vonat hétrészes kialakítású, de kétmozdonyos elrendezés esetén 11 kocsiból is állhat egy szerelvény. A mindössze 98 tonnás, 4 tengelyes vontatófej sokkal kisebb tengelynyomást fejt ki, mint egy ugyanekkora teljesítményű, 6 tengelyes dízelmozdony, ezzel gyengébb felépítményű pályákon is haladhat. Érdekesség, hogy a gázturbina nagy sebességeknél a leghalkabb, pl. 220 km/h-nál zajszennyezése megegyezik az Acela villanyvonattal. Ezenfelül 30%-kal kevesebb károsanyagot bocsát ki, mint egy ugyanilyen teljesítményű dízel. A Bombardier a TurboTrain-eket a 80-as években leváltó, de rossz konstrukciónak bizonyuló LRC dízelmotorvonatok utódjául szánja ezeket a szerelvényeket. Sem az Amtrak, sem a kanadai Via Rail nem zárkózott el a vásárlástól, de eddig rendelésüket sem adták le a gyárnak. A gyorsan fejlődő mexikói vasutak azonban – gázolajtüzelésre átalakítva – érdeklődött a vonatok iránt, amiket a nem villamosított, de 160 km/h sebességre engedélyezett pályákon zajló városközi forgalom bonyolítására szánának a jövőben.



Bombardier JetTrain

GÁZGENERÁTOROS TURBINÁVAL MEGHAJTOTT VASÚTI JÁRMŰVEK

A gázturbinás mozdonyok utolsó tárgyalta típusáról, a gázgenerátoros, vagy más néven szabadturbinákról még nem esett szó. Sajnos ez az eljárás – noha a gázturbinás hajtástípusok közül elsőként ezzel kísérleteztek – nem terjedt el igazán, csak néhány prototípusról, és rövid életű mozdonyról tudunk. A gázgenerátoros hajtást azért gondolták megfelelőbbnek a vasúti használatra más gázturbinás típusoknál, mert így kiküszöbölhető lett volna a már többször is említett alacsony sebességen mutatott gazdaságtalan működés. Mivel a szabadturbinának nincs nagy teljesítményigényű kompresszora, hanem a gázgenerátorból – ami legtöbbször egy viszonylag kisméretű belső égésű dugattyús motor – kiáramló gázok hajtják meg a turbinakereket, nem kell számolni annak kis fordulatszámon jelentkező hátrányaival. A bonyolult felépítés, a kiforratlanság, valamint a dízel- és villanymozdonyok elterjedése azonban megpecsételte ezeknek az érdekes hajtású mozdonyoknak a sorsát. A legkorábbi kísérletek már a 20-as években megkezdődtek, és az első mozdony 1933-ban készült el, ám a kísérlet nem jutott el a sorozatgyártásig. A francia Renault gyár által épített próbamozdonyokban a gázturbinát egy egyhengeres, ellendugattyús, kétütemű, hajtókar nélküli dízelmotor hajtotta, az erő aztán kétfokozatú sebességváltón keresztül jutott el a tengelyekhez.



Gázgenerátoros gázturbina, amelynél a meghajtó gázokat egy ellendugattyús belső égésű motor szolgáltatja. A gázturbina "cserébe" turbófeltöltőként is működik.

Csehszlovákia

A korábbi Csehszlovákiában az 50-es 60-as években foglalkoztak behatóbban a gázturbinák ilyen használatával, melynek eredményeként két mozdony is készült. Az első TL659-

001-es mozdony 1958-ben lett kész. 3500 lóerős gázturbinájába egy Tatra T111-es nehéz-teherautó V12-es, léghűtéses dízelmotorja termelte a gázokat. A gyáron kívüli tesztek 1959-ben indultak meg, melynek keretében 6500 tonnás vonatot is továbbított a mozdony. Ez azonban annyira megterhelte a gázturbinát, hogy végül kigyulladt, ezzel a próbagép végétét okozva. A második, 002-es példány 1960-ban hagyta el a gyár kapuit, és sikeres tesztüzem után üzembe is állt a Csehszlovák Vasutaknál (CSD). A konstrukció azonban megbízhatatlannak bizonyult, így 1966-ban el is búcsúzott tőle a vasúttársaság; a gépet a Zsolnai Műszaki Egyetemnek adták el, ahol meghajtó rendszere oktatási célokat szolgált. Néhány év múlva azonban innen már a bontóba vezetett az útja. Noha a gépek kudarcnak bizonyultak, a mai napig az egyik legerősebb, mechanikus erőátvitelű mozdonyoknak számítanak a világban.



A TL659-002 (balra) és 001 (jobbra)

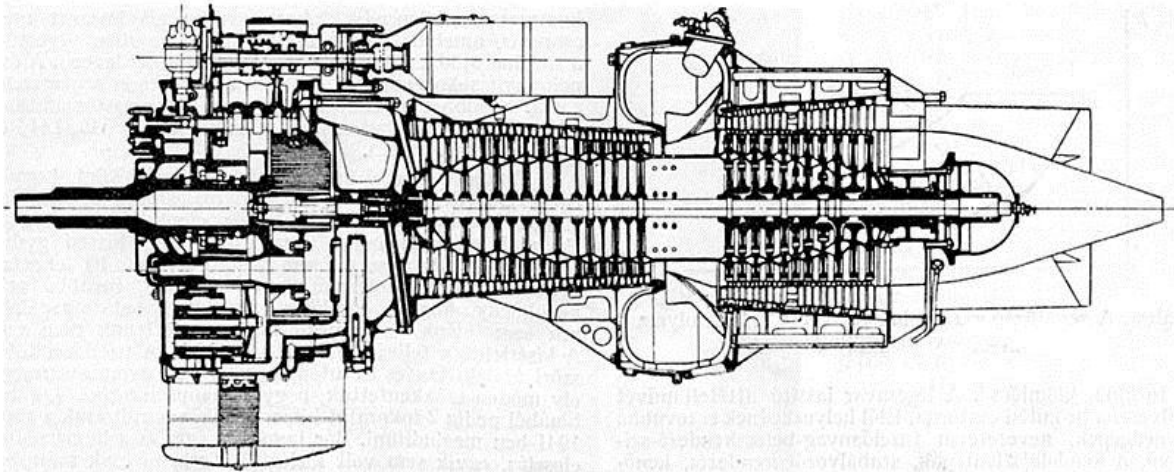
Hazai gázturbinások: Magyar Narancs

Jendrassik György, akit világszerte a vasúti dízelmotorok atyjának tartanak, előkamrás égésterű, rugós befecskendezőszivattyús dízelmotorjaival forradalmasította hazai dízelvontatást. Motorjai annyira előremutatóak voltak, hogy a világban és Magyarországon máig szolgálnak még olyan dízelmozdonyok, amelyek Jendrassik-rendszerű motorokkal vannak felszerelve.



Jendrassik György (1898-1954) magyar gépészmérnök, és a Cs-1 gázturbina a budapesti Műszaki Múzeumban

Kevesen tudják azonban, hogy a mérnök hasonlóan jeleskedett a gázturbinák témakörében is. 1937-ben, mikor Jendrassik már eléggé ismert és elismert feltaláló volt, megalkotta első gázturbináját, a Cs-1-et (a „Cs” betű csónakmotorra utalt, ez volt a fedőneve, mert valójában repülőgépekhez tervezték). A motor tervezett teljesítménye 1000 LE volt, ám különböző problémák – például a felhasznált anyagok rossz minősége és égéstéri gondok – miatt ennél jóval kevesebbet, 300 lóerőt tudott csak kifejteni 13 500-as fordulatszámon.



A Cs-1 gázturbina hosszmetszete

A motort tesztváltozatait többféle repülőgépen – köztük 1945-ben a szövetségesek első sugárhajtású repülőgépének még légcsavaros változatán, a brit Gloster Meteor vadászgépen is – de végül az erőgép kudarcnak bizonyult, és a háború utáni kaotikus helyzet, majd a kommunizmus megakadályozta a további fejlesztéseket. A 10 fokozatú, csökkentett teljesítményű gázturbinát egy időben tervezték viszont vasúti alkalmazásra, a gázgenerátoros

turbináknál már vázolt módon. A turbinát a Ganz motorkocsik V12-es, JVF XII 170/240-es típusú (a két szám a furat/löket hosszát jelenti milliméterben) motorjához „passzív” képzelték el, még hozzá úgy, hogy a dízel egység a gázturbina kompresszorát forgatta volna meg, a turbina pedig amellet, hogy megnövelte volna az összteljesítményt, töltőlevegőt szolgáltatott volna a dízelmotor számára. Az elgondolás nagy előnye, hogy nem kellett volna sebességváltó a motorkocsiba, illetve, hogy a gázolajnál rosszabb minőségű, tehát olcsóbb üzemanyagok is felhasználhatók lettek volna. Sajnos azonban ez a terv nem valósult meg.



MÁV Bbmot motorvonat a Déli pályaudvaron. Egy ilyen motorkocsiba került volna dízelmotor-gázturbina kombinált hajtóegység

30 évvel később a szintén Jendrassik tervei alapján készült, 12 hengeres SEMT-Pielstick motorokat akarták „megtámogatni” egy gázturbinával. Ez a motor egyébként a mai napig a MÁV M41-es (és 1990-ig 18 hengeres, 3000 LE-s kivitelben az M63-as) dízelmozdonyaiban teljesít szolgálatot. A terv hasonló lett volna a korábbi motorkocsinhoz, az 1800 lóerős motor és a gázturbina összteljesítménye 3500 LE lett volna, ezzel a valaha volt legerősebb MÁV dízelt lehetett volna megépíteni. A dízel-gázturbina kombináció az M41-eseken is alkalmazott hidrodinamikus nyomatékvtón keresztül 4 tengelyt hajtott volna, de az is lehet, hogy a hatalmas teljesítmény miatt 6 tengelyes változatot is készítettek volna a mozdonyból. Természetesen ez az újszerű, előremutató terv is elveszett a szocializmus bürokráciájában, illetve az 1973-as olajválság, valamint az 1980-as években a MÁV-nál tapasztalt drasztikus szállításcsökkenés sem indokolta a különleges hajtás létét. A tervről csak nagyon kevés dokumentáció maradt fenn.

Egyéb tervek:

Svédországban a Gotaverken is készített gázgenerátoros szabadturbinát. Itt egy két-ütemű, öthengeres, ellendugattyús dízel által termelt kipufogógázok forgattak meg egy turbinát, ami a hajtott tengelyeket fogaskerekeken, kardántengelyeken, és csatlórudakon ke-

resztül mozgatta.

A 40-es 50-es években kósza kísérletek zajlottak a korábban az UP-nél már említett szénportüzelés megfelelővé tételére. A fő probléma itt a széndarabok és az égési hamu turbinalapátokra gyakorolt káros hatása volt. Néhány teszt elvégzése után azonban a fejlesztő-cég abba is hagyta a próbálkozást. Amerikában a háború után egy olajtüzelésű gázturbinát alakítottak át szénporüzemre, de ismeretlen okok miatt aztán 1946-ban fejlesztési eredményeket eladták London, Midland & Scottish Railway-nek, a későbbi fejlemények nem ismeretek.



Az amerikai kísérleti gázturbinás mozdony

1952-ben egy érdekes elgondolást dolgoztak ki a brit Robertson és Sampson mérnökök. A tervet egyébként az angol energiaügyi minisztérium rendelte meg egy kísérleti szénportüzelésű szabadturbinás mozdony megépítéséhez. A koncepció nagyban különbözött minden addigi- és azutáni alapelvtől. A szénport egy égéstérben égették volna el, majd az így keletkezett forró gázok, egy hőcserélőn keresztül adták volna le a hőt egy külön hőtartályban levő sűrített levegőnek, ami kitágulva meghajtotta volna a turbinakereket. Ezzel kiküszöbölték volna a lapátok erózióját. A mozdony, amibe tervezték, egy hattengelyes, 1800 lóerős, 120 tonnás, és 115 km/h sebességre képes, mechanikus meghajtású egység lett volna Parsons gyártmányú gázturbinával. A gépbe kétfokozatú sebességváltót is terveztek, az első fokozat tehervonatokhoz, a második könnyű gyorsvonatok vontatásához lett volna használatos. Sajnos a kísérletből mozdony nem, csak egy kisméretű modell lett, ami Glasgow-i Közlekedési Múzeumban tekinthető meg.

SUGÁRHAJTÁSÚ VONATOK

Hogy merült fel?

Akárcsak a gőz- dízel- és villanymozdonyok között, úgy a gázturbinások körében is akadtak érdekes próbálkozások. Néhány már említésre került ezek közül, de biztosan nem voltak olyan figyelemre méltóak, mint a most következő néhány példány. A 70-es 80-as

években a vasfüggöny mindkét oldalán próbálkoztak az utazósebesség drasztikus emelésével anélkül, hogy különösebben nagy és erős mozdonyokat kelljen drága pénzekért kifejleszteni. Az akkoriban már a repülésben is egyeduralkodó gázturbinás sugárhajtóműveket előtte nem próbálták vonatokba beépíteni biztonsági, és gazdaságossági megfontolásokból. Ezeknek ellenére azonban példákat rájuk mind az USA-ban, mind a Szovjetunióban találhatunk, bár a projektek ismeretlensége miatt eléggé utána kell járni ezeknek a gépeknek.

New York Central „Black Beetle”



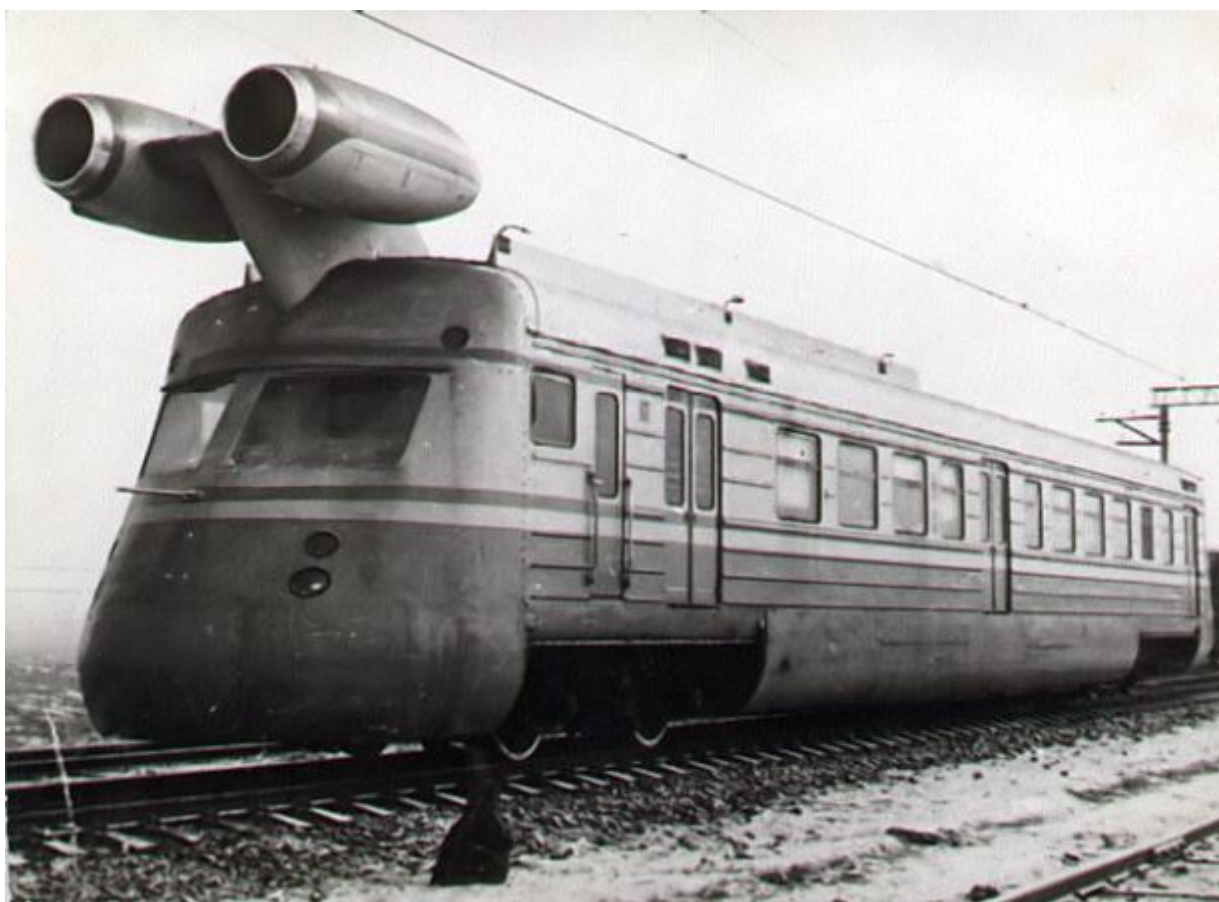
A New York Central vasúttársaság "Black Beetle" nevű sugárhajtású vonata

Amerikában 1966-ban, a New York Central Railroad kísérletezett egy turbojet-hajtóművel felszerelt motorkocsival. Az egyetlen teszt példány alapja egy, a vasutaknál szolgáló RDC-3-as típusú dízel motorkocsi volt. Az átépítés költségevetése elég szűkös volt, ezért kizárólag használt, és más típusokról beszerezhető alkatrészekkel dolgoztak. A motorkocsi elejére a vezetőállás fölé, egy tartópilonra került a két darab General Electric J47-19-es, összesen 46 000 N tolóerőt szolgáltató sugárhajtómű, amelyeket egy leselejtezett Convair B-36-os nehézbombázóról szereztek. A motorkocsi ezenfelül áramvonalas burkolatot is kapott, és fekete fényezést, ami miatt ráragadt a „Black Beetle” (Fekete Bogár) becenév. A kocsit az indiana-i Butler, és az ohio-i Stryker közötti nyílegyenes – egyébként menetrend szerinti vonatok által használt – pályán próbálták ki úgy, hogy azon semmilyen változtatást nem eszközöltek előtte. A Fekete Bogár az egyik alkalommal ezen a módosítatlan pályán érte el a hihetetlen 296 km/h (!!!) sebességet, ami ebben a műfajban azóta is világrekord. A próbaüzem ezen felül értékes tapasztalatokat szolgáltatott a nagysebességű pályák építéséhez. A kielégí-

tő eredmények ellenére az akkori vasúti vezetés nem látott fantáziát a sugárhajtású vonatban, ezért a motorkocsit visszaalakította, a projektet pedig lefújta. A tesztpéldány eredeti formájában 1984-es selejtezéséig közlekedett.

SVL szovjet sugárhajtású motorkocsi

A szovjetek valamivel később, 1970-ben láttak hozzá egy hasonló működési elvű vonat megépítéséhez. A motorkocsi hajtóműve az elején, szintén pilonokon elhelyezett két darab Ivcsenko AI-25-ös, összesen 34000 N tolóerejű turbóventilátoros sugárhajtómű volt, melyeket a Jak-40-es kisméretű sugárhajtású repülőgépek, illetve az L-39 Albatros vadászgépek is használtak. A motorkocsi maximális sebessége 255 km/h volt, de az egyik próbamenet során 290 km/h sebességet is elért, tehát hasonló menetteljesítményekkel büszkélkedhetett, mint amerikai társa. A projekt alapja egyébként egy szovjet ER22-es dízel motorkocsi volt, amely természetesen komoly aerodinamikai módosításokon ment keresztül. A tervezet SVL néven futott, melynek jelentése nagysebességű laboratóriumi motorkocsi. Ismeretlen okok miatt aztán ebből a próbálkozásból se lett semmi, a vonatot félreállították, rozsdás maradványai a mai napig egy orosz gyár területén láthatók. Egyébként a szovjetek ekkoriban egy Tu-134-es hajtóművekkel felszerelt, 100 km/h sebességre képes szárnyashajóval is próbálkoztak, de sajnos az sem jutott tovább a tesztelésnél.



Az SVL sugárhajtású kísérleti szovjet motorkocsi

A gázturbinás vasúti hajtás értékelése

Mint látható, viszonylagos ismeretlensége ellenére akadtak példák bőven mind a gáz- mind a gőzturbina használatára a vasúti vontatásban. A mérnökök igyekeztek hátrányaikat kiküszöbölni, de sokszor a sors és a politika is közbeszólt. Szerencsésebb lenne, ha a téma iránt érdeklődők könnyebben hozzáférhetnének az ezen hajtásokról szóló anyagokhoz, mert kicsi, de igazán fontos és legfőképpen tanulságos részei voltak a vasút- és technikatörténetnek.

Felhasznált képek, irodalom

http://www.ohio.edu	http://en.wikipedia.org/wiki/Sikorsky_X2
http://forums.auran.com	http://defenceforumindia.com
http://www.defenseindustrydaily.com	http://en.wikipedia.org/wiki/Brown,_Boveri_%26_Cie
http://www.answers.com	http://www.swissrailcollector.net
http://en.wikipedia.org/wiki/Opposed-piston_engine	http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_oil
http://what-when-how.com	http://up150.com/timeline
http://jetengines.wordpress.com	http://blog.seattlepi.com
http://brendanflynn.wordpress.com	http://dummidumbwit.wordpress.com
http://www.iet.tuwien.ac.at	http://www.railarchive.net
http://www.rcgroups.com	http://www.posters57.com
http://www.ohio.edu/mechanical/stirling/engines/engines.html	http://en.wikipedia.org/wiki/Union_Pacific_GTEs
http://www.tpub.com	http://visualrian.ru
http://www.numizmatik.hu	http://25.media.tumblr.com
http://en.wikipedia.org/wiki/File:John_Barber's_gas_turbine.jpg	http://www.railwaybritain.co.uk
http://www.brennanletkeman.com	http://gallery.balticrailpics.net
http://www.airbus.com	http://www.crawleymodelengineers.org.uk
http://jayaentertainment.blogspot.hu	http://www.flickr.com
http://www.formula1journal.com	http://postcards.delcampe.net
http://www.pto.hu	http://rfe.railclub.ru

<http://ptatransitauthority.blogspot.hu>

<http://www.tueplay.com>

<http://vadrouille-debrouille.blogspot.hu>

<http://es.wikipedia.org/wiki>

<http://www.flickriver.com>

<http://history.amtrak.com>

<http://forums.auran.com>

<http://www.railpictures.net>

<http://www.vlaky.net>

<http://somogyiek.uw.hu>

http://hu.wikipedia.org/wiki/Jendrassik_Cs%E2%80%93

http://hu.wikipedia.org/w/index.php?title=F%C3%A1jl:Cs-1_metszet.jpg&filetimestamp=20090704091341

<http://www.benbe.hu>

<http://thecontaminated.com>

VASÚT ÉS TÖRTÉNELEM

A MUMUSOK: Az 1973-as és az 1979-es olajválság



A dolgozat során már többször került szóba az 1973-as és 1979-es olajválság, leginkább valamilyen vasúti meghajtás elterjedésének akadályaként, ne adj isten halálának fő okaként. Mivel még sokszor fogunk találkozni ezekkel az eseményekkel, megérdemelnek egy külön rövid fejezetet, így talán jobban megismerjük egyrészt a vasúti vontatás történelmi hátterét, másrészt pedig – mivel ezen történések a mai napig hatással vannak a világgazdaságra – tovább szélesedhet a látókörünk. A fejezetben röviden szóba kerül, mi és hogyan történt, majd az olajválságok a közlekedésre – többek között a vasútra – gyakorolt hatását taglaljuk.

A válság előzményei

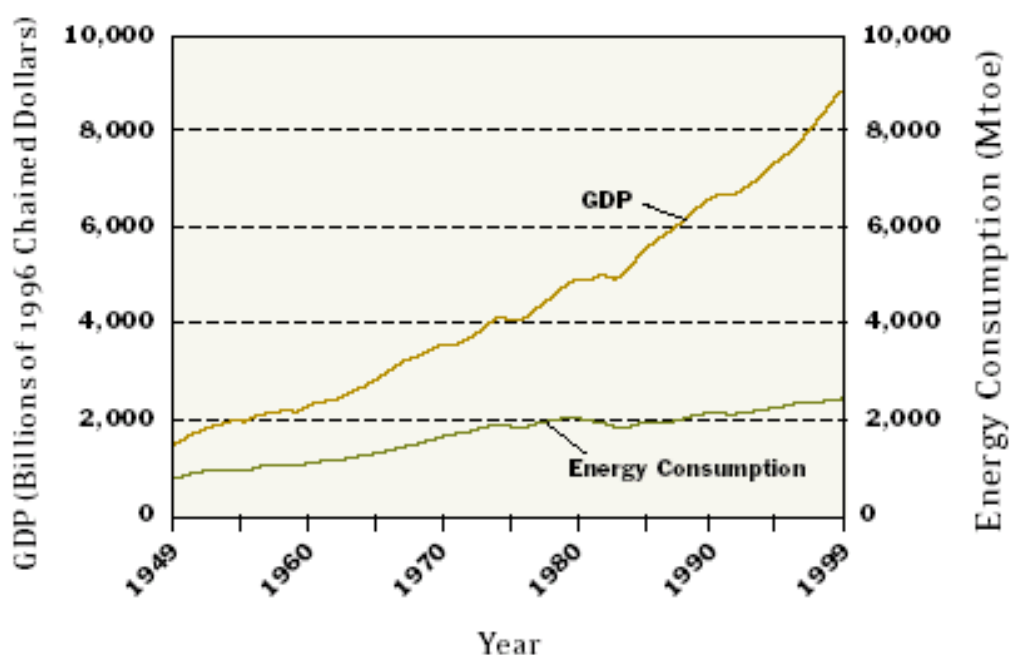
Az olajválságokat – mint általában a krízishelyzeteket – egy évtizedekig tartó fellendülés, már-már pazarlás előzte meg, de közvetlen kiváltó oka egy viszonylag nem túl jelentős esemény volt, hatásait pedig sok évvel utána is érezteti.

Az 50-es, 60-as években addig soha nem látott fejlődés vette kezdetét a világban. A világháborút elvesztő országok újjáépültek, a keleti blokkban a sztálinizmus végével kicsit enyhébb időszak köszöntött be, a győztes országok pedig – egy-két kivételtől eltekintve – fénykorukat élték. A világ népessége addig soha nem látott mértékben nőni kezdett (az 1923-as 2 milliárdról 1960-ra lettünk 3 milliárdan, viszont a 4 milliárdot már 1974-re elértük! Ez akkor is hatalmas növekedés, ha tudjuk, hogy 1923 és 1960 között ott volt a II. világháború.). Ez különösen igaz volt az USA-ra. A világ népességének mindössze 5%-át kitevő ország használta fel – és használja máig – az éves olajfogyasztás 35% (!!!)-át! A tárgyalt időszakban

duplán is igaz volt rá a „legnagyobb olajpocsékoló” kijelentés. Egyrészt a világ legiparosodottabb országáról beszélünk, amely nem melleleg éppen hadban állt a távoli Vietnámmal. A „helikopter-háborúnak” is nevezett konfliktus az ország sajátosságai miatt hatalmas logisztikai kihívást jelentett Amerikának, ezt pedig csak rengeteg olajfaló helikopterrel, hajóval, harckocsival lehetett leküzdeni.

Historic Growth in U.S.

GDP and Energy Consumption 1949-1999

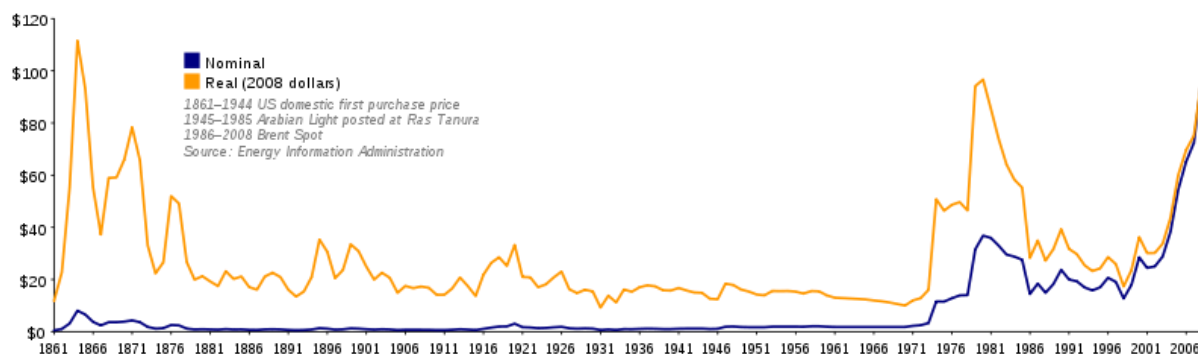


AZ USA GDP-je és energiafogyasztása 1949 és 1999 között: látszik a csökkenés mindkét grafikonon a 70-es években

Az 1973-as olajválság

Jóllehet, a háború 1973-ban lényegében véget ért, a közel-keleti események csak tovább ágyaztak egy esetleges nyílt konfliktusnak. A már a zsidó állam megalakulása óta tartó arab-izraeli konfliktusban az USA Izraelt támogatta, miközben jelentős olajbehozatalra kényszerült az arab országokból. Az arab olajexportáló államokat tömörítő OAPEC (Organization of Petroleum Exporting Arabic Countries – gyakorlatilag az OPEC-országok Egyiptommal és Szíriával kiegészülve) számára az utolsó csepp a pohárban az volt, amikor Amerika az 1973 októberében lezajlott Jom-Kippuri ütközetben (amelyet amúgy Egyiptom kezdett meg egy hadüzenet nélküli támadással) szintén Izraelt támogatta. Az OAPEC ennek hatására az USA-ba irányuló olajszállítmányok árát azonnal megemelte hordónként (1 hordó = 159 liter) 70 %-kal (3 dollár körüliről 5 dollárra)! A bekövetkező tőzsdepánik, majd az azt követő recesszió és a megugró infláció (ún. Nixon-sokk) csak tovább növelte az olaj árát, ami 1974 májusára 12 dollárra szökött fel. A krízisnek végül az vetett véget, amikor Henry Kissinger – a nemzetbiztonsági tanácsadó – nyomására Izrael visszavonult a harcok színhelyéül szolgáló Golan-

fennsíkról. A kedélyek a tőzsdepiacra 1974 végére nyugodtak csak meg.



Olajárak 1861-2007. A kék az akkori árakat jelöli, a sárga az inflációval együtt számítva (2008-as dollárban). A két, szinte függőleges szakasz a diagram vége felé magáért beszél

A második olajkrízis

1979-ben Iránban Khomeini Ajatollah vette át a hatalmat, ennek hatására az országban zavargások törtek ki, amely az olajszállítás gyakorlatilag teljes megszűnéséhez vezetett. A 6 évvel azelőtti állapotokra emlékeztető helyzetben az akkor 15 dollár körüli olajár elkezdett megint felfelé mászni. Az új rezsim ugyan nekilátott később az olajtermelésnek, de addigra már óriási volt a kiesés. 1980-ra egy hordó olaj ára 250 (!!!) %-os emelkedéssel az addig hihetetlen 40 dolláros határ közelébe ugrott (az inflációt is beleszámítva ezt az értéket 2008 márciusában sikerült túllépni, amikor 145 dollárra emelkedett az ár). Carter elnök bojkottot hirdetett Irán ellen, de ezzel megoldani nem, csak súlyosbítani sikerült a helyzetet. A válság hatására viszont az addig csak gazdaságosan nem kitermelhető olajjal rendelkező amerikai államok – Texas, Louisiana, Oklahoma, Colorado – a 80-as évek elején gyakorlatilag olajmezőkké változtak, ezeket a területeket kimondottan pozitívan érintette a válság. A bevezetett intézkedések hatására a 80-es évekre az energiahordozó ára újra 10 dollár alá esett vissza (ez 1986-ig tartó olajbővséget eredményezett). A válság ugyan véget ért, de a világ az újkori történelem során először megtapasztalhatta, milyen rendkívüli mértékben is függ az olajtól, illetve az olajexportáló országoktól.

Az események hatása a közlekedésre

Valószínűleg nem meglepő, hogy az olajválságokat a fogyasztói társadalom részéről hatalmas pánikhangulat kísérte, hisz sokan csak ekkor szembesültek azzal, hogy olaj (benzin) nélkül mi mindenről le kellene mondani. A keleti blokk országait csak közvetve érintette a válság, hisz azok a Szovjetunióból importált olajat használták. Az igazsághoz hozzátartozik, hogy 1973 előtt a fejlett országokban – főleg Amerikában – a benzinárak a keresetekhez képest majdhogynem nevetséges szinten mozogtak. Egy gallon benzin ára – mai áron – 1,36 \$ volt, miközben az átlagfizetés – szintén 2012-es dollárban – évi 40 ezer körül mozgott; ez azt jelentette, hogy az átlag amerikai egy hónapban mintegy 9300 liter (!!!) üzemanyagot vehetett (az egyszerűség kedvéért feltételezve, hogy az egész havi fizetését erre költi)! Összehasonlításképpen ekkor Magyarországon csak 1850 liter normálbenzint lehetett volna tankolni

az átlagfizetésből (ma ez az érték rekord-alacsony – 350 liter körüli idehaza, Amerikában még mindig 3000 fölötti, Nyugat-Európában valamivel kevesebb, kb. 1500 liter...). Az utakon hatalmas, 6-8 literes V8-as motorokkal felszerelt, közel 6 méter hosszú Cadillac-ek, Lincoln-ok, Chevroletek közlekedtek, amelyeknek négytorkú karburátorán át 25 liter zúdult be 100 kilométerenként a szinte ingyen árult etilbenzinből.



Amerikai autók a válság előttről, és utánról: Balra: 1959-es Cadillac Eldorado (hossz: 5,75 méter, motor: 7 literes V8, fogyasztás: 28,3 l/100 km) Jobbra: 1976-os Chevrolet Chevette (hossz: 4 méter, motor: 1,4 literes soros négyhengeres, fogyasztás: 5,9 l/100 km)

Az olcsó olaj miatt villamosított vasútvonal alig akadt az amerikai kontinensen, Európában is a törzshálózat nagy részén dízel-, sőt, sok helyen – pl. Magyarországon is – még gőzmozdonyok húzták a vonatokat. A villamosítás – annak magas költsége, és kis haszna miatt – legfeljebb csak a legforgalmasabb vasútvonalakon jött szóba. A mérnökök megszállottan tervezgették az új találmány – a gázturbina és a sugárhajtómű – vasúti adaptálását, Franciaországban az elővárosi gyorsvasutakat gázturbinás meghajtású légpárnás vonatokkal képelték el. Ezek a tervek voltak azok, amelyek az aggasztó hírek felröppenésekor elsőként landoltak a kukában.



Az olajembargók áldozatai: a párizsi Orly repülőtérre tervezett, légpárnás vonatokat használó, 400 km/h sebességű gyorsvasút (balra) az elsők között volt az 1973 után elmaradt tervek közül. Jobbra: Union Pacific EMD-DDA40X „Centennial” a világ legnagyobb dízelmozdonya. A 6600 lóerős, 30 méteres, nyolctengelyes mozdonyt 1969-ben vásárolta a UP, de az olajválságok után világossá vált, hogy nem lehet sokáig megtartani. 1984-ben selejtezték őket.

Noha a jelenlegi európai – főleg a magyar – benzinárakat és fizetéseket nézve nevetségesnek tűnhet az amerikaiak attól való féltelme, hogy egyszer csak nem tudnak elég üzem-

anyagot venni, a helyzet ennél bonyolultabb volt. Az 1973-as olajválság beütésével az amerikai kormány – a II. világháború óta először – az üzemanyag-korlátozáshoz hasonló intézkedést vezetett be; páros napokon csak a páros-, páratlan napokon csak a páratlan rendszámú autók tankolhattak. Ez a 80-100 literes benzintankokkal felszerelt autók országában nem volt olyan nagy megkötés, kicsit kényelmetlen ugyan, de meg lehetett szokni. Ekkor vezették be az 55 MPH-s (88 km/h) sebességhatárítást (Magyarországon 1976-ban a 80 km/h-t), intenzív kampány indult az üzemanyag-takarékosság, illetve a tömegközlekedés használatának népszerűsítésére, valamint ehhez az eseményhez köthető a máig sokat vitatott téli-nyári időszámítás kezdete is. Érdekesség, hogy még a válság alatt is napi 24 millió liter benzint fogyasztott el csak arra, hogy a benzinkutaknál kialakult hosszú sorokban álló autók a klímaberendezések miatt járó motorral várakoztak! A páros-páratlan rendszer 1976-ig volt életben az első krízis, majd 1980-ig – már csak néhány államban – a második olajválság után. Az utakról eltűntek a hatalmas benzinfaló autók, hogy katalizátorral lefojtott, kicsi, de takarékos japán kocsik vegyék át a „hatalmat” (míg Japán autóipara nagyban köszönheti népszerűségét az olajválságoknak, addig az USA autógyártása a mai napig nem heverte ki az eseményeket). Európában rohamléptekben épültek ki a villanyvasutak, melyeket olajtüzelésű hőerőművek helyett, nagyteljesítményű atom-, vagy környezetbarát víz- és szélenergia láttak el energiával. A megmaradt hőerőművek nagy részén is az olcsóbb gáz- vagy széntüzelésre tértek át.



Ha nincs más kiút, csak előre; válságmegoldás francia módra: Balra az 5000 MW-os Cattenom atomerőmű, amellyel jó pár hőerőművet kiváltottak, jobbra a híres TGV-vonatok első generációja, a 270 km/h sebességre képes Sud-Est, 1979-ből, amely eredetileg a gázturbinás motorvonatok helyett mutatkozott be

Az USA-ban lekerült a napirendről a nemrég nyugdíjba vonult hatalmas teljesítményű gázturbinás mozdonyok feltámasztása, a dízelmozdonyok vásárlásakor is fontos szemponttá lépett elő az üzemanyag-takarékosság (ez a korábban népszerű, hatalmas, alacsony fordulatszámu, kétütemű dízelek visszaszorulását eredményezte). A szegényebb országokban egyszerűen csak lemondtak a dízelmozdonyok használatáról (sok helyen a mai napig megmaradtak a gőzösök). 1979-ben a súlyos helyzet miatt – a háború óta először – benzinjegyeket nyomtattak, de ezeket végül nem használták.



A válság velejárói: csak fejenként 10 gallon (38 liter) tankolást engedélyező tábla egy benzinkútnál (balra) és a hírhedt, de végül be nem vezetett benzinjegy (jobbra) 1979-ből

Előtérbe kerültek a megújuló energiaforrások, az utakon megjelentek a befecskendezős, hengerlekapcsolós motorok – előbbi a vasúton is, Európában ekkor mutatkoztak be nagyobb számban az első dízelmotoros személyautók. Terjedni kezdett a turbófeltöltés és a szabályozott keverékképzés (lambdaszonda). A hatalmas áremelkedések (1973-ban 3 dollár-ról 12-re, 1979-ben 15-ről 39-re) a benzinkutakon annyira nem jelentkeztek (a benzin ára „alig” kétszeresére emelkedett csak, a gázolajé még ennire sem), az 1980-as üzemanyag eladások mindössze 3,5 %-kal voltak alacsonyabbak az 1972-es adatoknál.

A válságok értékelése technikatörténeti szemszögből

Noha az események politikai hatása nagyobb figyelmet kapott, nem lehet elmenni azon változások mellett, amelyeket az olajembargó miatti kényszer szült, hogy aztán később akár önálló iparágként, nagy, talán még az eredeti megoldásnál is fényesebb sikernek örvendjenek. A válságok megindítottak valamit; jóllehet az olajárak a 80-as évekre ismét 10 dollár alá estek vissza, a világ rádöbbsent, mennyire pazarló életet is élt addig: az környezet-tudatosság, a takarékoság „népszerűvé válása” ezekből az időkből származik. A környezet-védelem, „jó üzletté vált”, a közlekedésben a „zöld járművek”, a mai hibridek, elektromos autók az olajválságoknak is köszönhetik virágzásukat. Az 1973-1979 közötti időszakban sok, addig ígéretesnek, és a jövő hírnökének tartott újítás – így a vasúti hajtások közül is jó pár – lett törölve, vagy került örökre egy fiók mélyére. De legalább ennyi újdonság köszönheti ugyanennek az eseménynek – ha csak közvetve is – a felvirágzását, így technikatörténeti szempontból sokat lehetne vitatkozni azon, hogy az olajválságok károsak, vagy hasznosak voltak-e. Ha mást nem is, az embert sikeresen rádöbbsentették arra, hogy azok a dolgok, amiket naponta (el)használ, végesek, és egyszer visszafordíthatatlanul kifogynak. Ez pedig mindenképpen hatalmas teljesítmény.

Felhasznált források, képek

<http://www.heatingoil.com/articles/arab-oil-embargo-happened-happen/>

<http://www.nationmaster.com/encyclopedia/1973-oil-crisis>

<http://www.districtdispatch.org/2012/07/oil-crisis/>

<http://www.plan59.com/cars/cars038.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/Chevrolet_Chevette

<http://www.trainweb.org/tgvpages/images/pse/index.html>

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Nuclear_Power_Plant_Cattenom.jpg

<http://www.answers.com/topic/rationing>

IV. FEJEZET

MAGLEV- VONATOK



Bevezetés – egy új kor hajnala

Mint láthatjuk, viszonylagos ismeretlenségük és sikertelenségük ellenére elég komoly története van mind a gőz- mind a gázturbinás vontatásnak. Ennek ellenére be kell vallanunk, hogy a témában nem jártasak biztosan nemhogy példát nem tudnának mondani rájuk, valószínűleg még a létezésükkel sincsenek tisztában. Az alábbiakban részletezett hajtás ezzel szemben működésének köszönhetően elég nagy ismertségre tett szert nemcsak a műszaki életben, hanem a sci-fi filmeknek és könyveknek köszönhetően a popkultúrában egyaránt. A maglev vonatok ugyanis híján vannak annak, amit az ember a megjelenésükig minden vonat elválaszthatatlan alkatrészének hitt: a kerekeknek. E vonatok, melyek nevüket a MAGnetic LEVitation (jelentése: mágneses lebegtetésű) angol szóösszetételből kapták, a lebegtetésüket, az irányításukat és a meghajtásukat egyaránt a mágnesekből nyerik, ezzel sok olyan újítást bevezetve, amelyeknek elméleti korlátai még ma sem ismertek, de több nehézséget is okozva, amikre hivatkozva ellenzőik kételkednek abban a közvélekedésben, miszerint a XXI. század már a kerekek nélkül működő vasutak évszázada lesz. A mágnesvasutak történetével, működésükkel, jelenükkel, jövőjükkel, a kialakulásukat és működésüket övező vitákkal foglalkozunk a dolgozat ezen részében.

A LINEÁRIS VILLANYMOTOROK

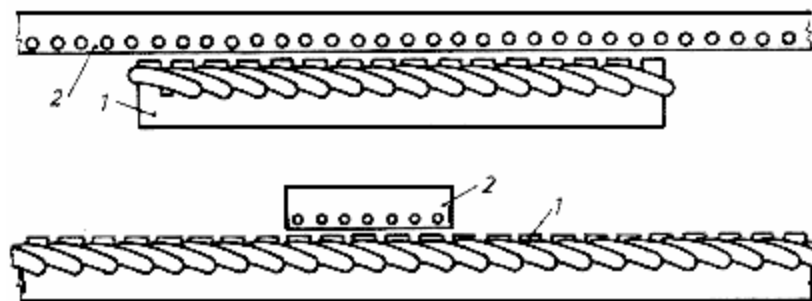
A mágnesvonatok létezésüket az ún. lineáris motorok feltalálásának köszönhetik. A lineáris motor olyan, mint egy palástja mentén szétvágott, és síkba kiterített váltakozó áramú, háromfázisú villanymotor (egyes írárok végtelen nagy átmérőjű állórésszel rendelkező villanymotorhoz hasonlítják őket). Működésük gyakorlatilag megegyezik a normál elektromotorokkal, azzal a különbséggel, hogy emiatt a „kiterítettség” miatt esetükben nincs értelme olyan, villanymotorokat jellemző mennyiségekről beszélni, mint fordulatszám, átmérő, illetve nyomaték. A lineáris motoroknál is megkülönböztetünk szinkron- és aszinkron üzeműeket, de esetükben az eltérő felépítés miatt a technológiában más alapelvek szerinti csoportosítás is mérvadó.



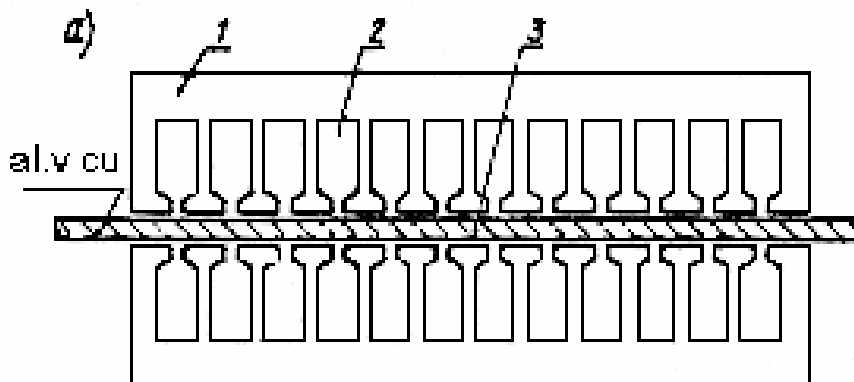
Különböző, anyagmozgatásban használt lineáris motorok

A lineáris motorok fajtái

Mivel a lineáris motorok nem kör keresztmetszetűek, ezért nincs „belsejük” és „külsőjük”, azaz ugyan technológiailag van álló és „forgó” részük, gyakorlati szempontból nem lényeges, hogy valójában az állórész áll és a forgórész halad, vagy fordítva. Az elnevezéseknek csak a tekercselések miatt van jelentősége. Hogy az ilyeneket megkülönböztethessék egymástól, mozgó primer részű (a szekunder rész a „pálya”) és álló primer részű (itt pedig a primer rész áll) motorokról beszélhetünk. További csoportosítási lehetőség az is, hogy a primer, vagy a szekunder rész adja-e a mozgáspálya hosszát. Ily módon a lineáris motorok lehetnek rövid- és hosszúprimer részűek, de akár kétoldalasak is (a mozgórész két állórészszel áll kapcsolatban, így minimális méretnövekedéssel kétszeres vonóerőt, és teljesítményt lehet elérni). A sok csoportosítási lehetőség közül lényegesebb még a mágneses mező forgásiránya szerinti felosztás, mely alapján lehet szó transzverzális (a mágneses mező forgásiránya merőleges a haladási irányra) és longitudinális fluxusú (itt pedig párhuzamos) lineáris motorokról.



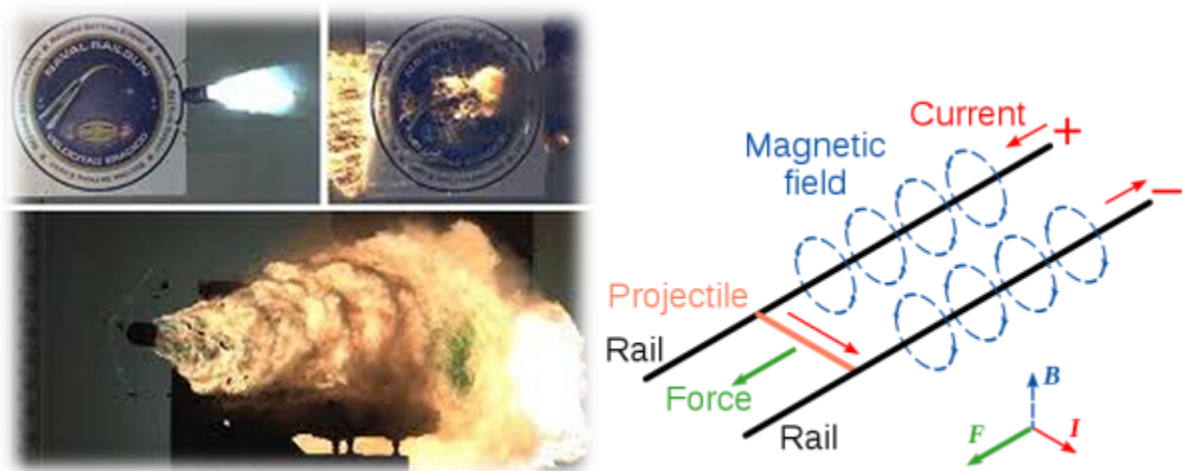
Rövidprimer (felül) és hosszúprimer-rendszerű (alul) lineáris motorok. Jelmagyarázat: 1.) Primer rész 2.) szekunder rész



Kétoldalas lineáris motor, alumínium vagy réz mozgórészszel (középen vonalkázva)

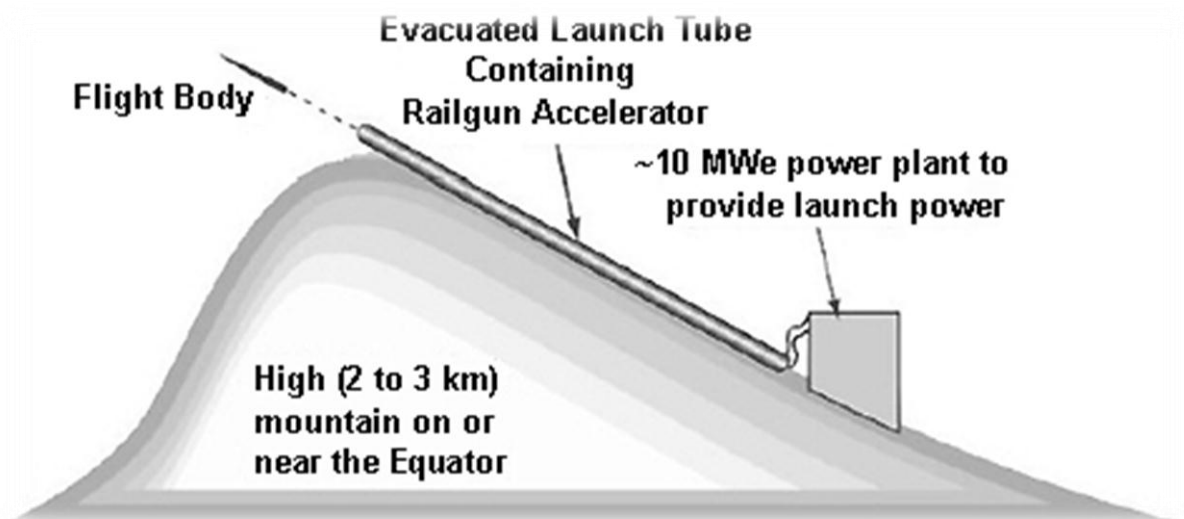
Ezeknél a csoportosítási lehetőségnél a síkmotorok most tárgyalt felhasználási lehetőségeinek szempontjából érdekesebb a gyorsulás szerinti elkülönítés. Az eszerint megkülönböztetett kis- és nagy gyorsulású lineáris villanymotorok között a nevük által sugallt különbségeken kívül több felépítés- és működésbeli eltérés is van, ennek megfelelően felhasználási területeik is mások.

A nagy gyorsulású lineáris gépek általában indukciós villanymotorok, valamelyik oldalukon háromfázisú tekercseléssel a másikon pedig egy vezetőanyagból épített lemezborítással. Ezt a típust leginkább a jövő fegyvereiben szeretnék hasznosítani, és a fejlesztőmérnökök reményei szerint képesek lesznek leváltani a manapság használatos tűzfegyvereket. A lineáris motorokkal működő fegyverek elméletben a maiaknál nagyságrendekkel hatékonyabbak lehetnek, és noha manapság még csak néhány teszt példány készült el, az eredmények így is kecsegtetőek. A fegyverekben a mozgórész maga a lövedék, amelyet hatalmas áramerősséggel gyorsítanak fel óriási sebességekre. Jelenleg az egyik kísérleti elektromágneses ágyúban a 3 kg tömegű lövedéket 8-9 000 km/h sebességre gyorsítják fel, ami 3-szorosa a manapság megszokott ágyúkkal elérhetőnek. Egy másik esetben egy 2 kilogrammos wolframrudat 10 000 km/h sebességgel lőttek ki, amely elegendő volt ahhoz, hogy átüsse egy modern tank páncélját mindkét oldalán. Az amerikai haditengerészet a közelmúltban több kísérletet is végzett az ilyen működési elvű hajóágyúkkal, amelyek a jövőben szintén leválthatnák a manapság használatos 16 hüvelykeseket. Mivel az ilyen löfegyverek teljesítményét nem korlátozzák a puskaporok égési jellemzői, még ma sem tudják, hol van a határa a technológiának.



Balra: Egy lövedék elhagyja az elektromágneses ágyú csövét. A torkolati sebesség 2-3 km/s, ezért úgy felizzik, mint a légkörbe belépő aszteroidák. Jobbra: Az ágyú sematikus működése: a piros az áramirányt, a kék a mágneses mezőt, a halványzöld az erő irányát mutatja.

Békésebb célokat szolgálhat majd a nagy gyorsulású motorok másik bevetési lehetősége: a rakétakilövő. Ezen esetben szintén megszabadulnánk a nagytömegű gyorsítórakétáktól, a rakományt egyetlen lövéssel pályára lehetne állítani. Egy már kidolgozott terv szerint egy 1600 méter hosszú kilövőállás – amely valójában egy ilyen lineáris motor – képes lenne kb. 40 000 km/h-ra gyorsítani a kilövendő „rakétát”, amely így le tudná győzni a Föld gravitációs vonzását. Hátránya, hogy csak kisebb rakományok pályára állítására alkalmas, valamint hogy embert nem lehetne vele az űrbe küldeni, mivel kilövéskor a rakétára 0,43 másodpercig több mint 2000 g-s (!!!) gyorsulás hat.



Elektromágneses rakétakilövő elvi rajza

Már a mindennapi alkalmazás szélén áll a szintén ilyen technológiát felvonultató ún. „magnetopult”, amely nem más, mint egy lineáris motorral működő repülőgép-katapult. A közelmúltban bemutatott szerkezet egy 45 tonnás gépet 91 méteres úton képes 0-ról 240 km/h sebességre felgyorsítani, miközben jóval kevesebb energiát használ el, mint a már a II. világháború óta használatban levő gőzkatapultok. A jövőben hadba állítandó repülőgép-anyahajókat már ilyen szerkezetekkel tervezik megvalósítani.

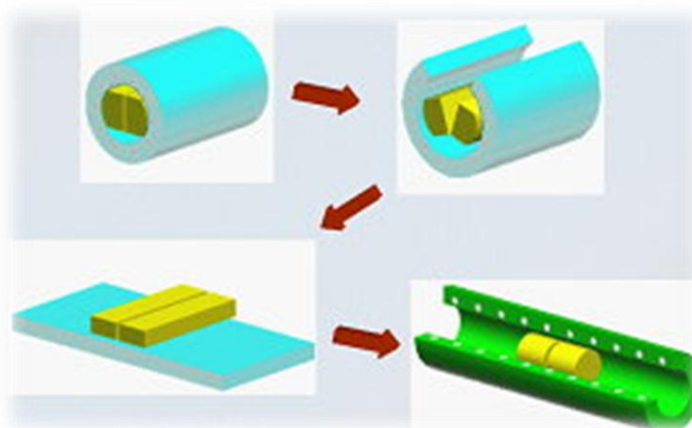


Lineáris motorral működő repülőgép-katapult egy F35-ös vadászgép indítása közben

A maglev-vonatoknál használt kisgyorsulású lineáris motorok általában szinkron üzeműek, tehát elvileg szinkronfordulatszámmal üzemelnek. A „fordulatszámot”, tehát jelen esetben a haladási sebességet a tápláló áram frekvenciájának- illetve az állórész pólusközé-

nek (két állórésztekercs közötti távolságának) változtatásával lehet módosítani. Az ilyen motoroknál a légrés egyik oldalán aktív tekercselés, a másikon váltakozó pólusú mágnesek foglalnak helyet. A később részletebben is bemutatandó vasúti alkalmazás mellett nagy szerepe van a modern hullámvasutak kocsijainak gyorsításában, gyárak futószalagjainak meghajtásában, illetve szintén modern liftek, metrókocsik, villamosok ajtajainak nyitásában.

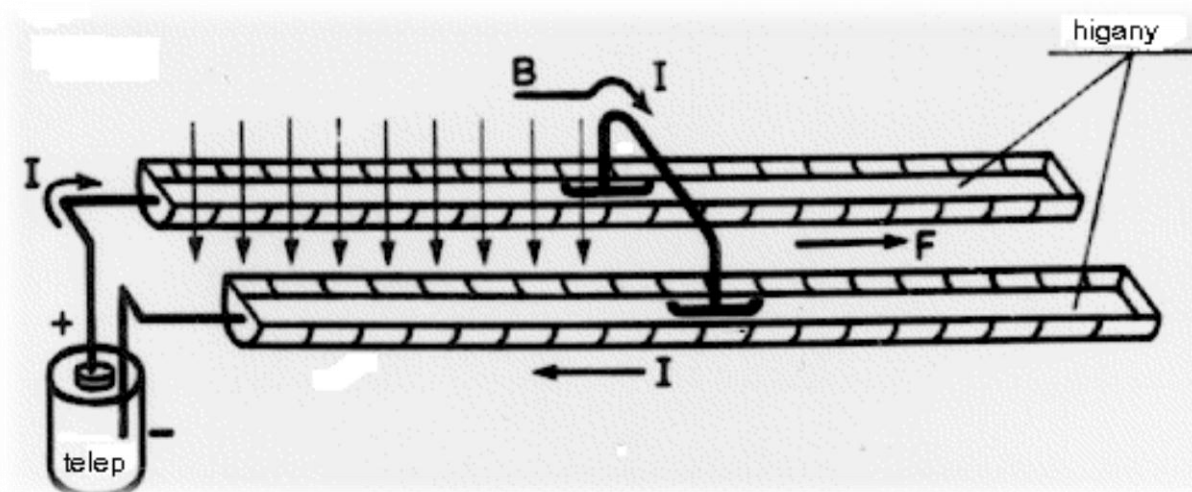
A fentiekén kívül érdekes változata a lineáris motoroknak az ún. csőmotor, amely lényegében egy lineáris motor, amely a hossz tengelye mentén „fel van pöndörítve” cső formájúra. Ebben halad a mozgórész. A jövő fegyvereinek egyik lehetséges meghajtása lehetne, kisgyorsulású változata pedig a holnap metróinak hajtóegysége, de már napjainkban is léteznek ilyen csőmotorok folyékony fémek szivattyúzására.



Lineáris csőmotor származtatása hagyományos villanymotorból

A lineáris hajtás története:

A lineáris motorok működésének alapjait Andre-Marie Amper figyelte meg először. Keresvén az áram és a mágneses tér közötti kapcsolatot, 1821 táján kísérletet folytatott, ahol is két higannyal töltött vízszintes vályút helyezett el. A két csatornát egy fémvezetővel hidalta át.



Amper lineáris motoros kísérlete

Az első lineáris motor már néhány évtizeddel a villanymotor megjelenése után elkészült. Alfred Zehden német villamosmérnök 1907-ben tervezte- és építette meg. A feltaláló egy vasúti kocsit akart meghajtani vele, de itt még lebegtetésről nem volt szó, a motor forgórésze a tengely alá, állórésze pedig a pályába lett volna beépítve, ily módon hajtva meg a kocsit. Találmánya sajnos csak elméletben működött. A lineáris motort egyébként Zehden-től függetlenül F.S. Smith angol mérnök is feltalálta, szintén 1907-ben. Ő egy jövőbeli tömegközlekedési rendszert képzelt el, amelyben a vonatokat lineáris motorok hajtják. Az, hogy találmányával megelőzte korát, enyhe kifejezés, hiszen még ma sem állíthatjuk, hogy szerepe lenne a mágneses hajtásnak a közlekedésben.

1937 és 1941 között Németországban is kísérleteztek maglev-vonatokkal, de szignifikáns eredményekről nem tudunk. A „maglev” kifejezést egy 1959-es tanulmányban használták először, melynek címe „Kötőtpályás mágneslevitációs rendszerek” volt. A 60-as évekig több dolgozat is született a lineáris motorok használhatóságáról, de ezek – valószínűleg finanszírozók híján – megmaradtak elméleti fejtegetések szintjén.

Vasúti lineáris meghajtás típusok – mitől „repül” a vonat?

A lineáris motorok nagy előnye, hogy mivel nem rendelkeznek kerekkel, nem kell számolni súrlódással, és nem kellenek a klasszikus értelemben vett futóművek sem. A pályával való kapcsolatot azonban valamilyen módon itt is meg kell teremteni, még ha az nem is közvetlenül történik. A maglev vasúti alkalmazásában háromféle felfüggesztési rendszer terjedt el. Az egyik az attraktív, azaz a mágneses vonzáson alapuló ún. elektromágneses- a második a repulzív, azaz a mágneses taszítást felhasználó elektrodinamikus, a harmadik pedig a nagysebességű haladás során a pályában fellépő elektromágneses indukció teherhordó erejére támaszkodó „Inductrack-felfüggesztés”.

Az elektromágneses futóműnél (EMS = ElectroMagnetic Suspension) a vonat lebegését a „T” alakú pálya vízszintes részének alját beborító mágnesek vonzzák (alulról felfelé) a vonatot, amely így megemelkedik. A megoldással nagy sebességeket lehet elérni, és a mágnesek sincsenek kitéve annyira az időjárás viszontagságainak, viszont nagyon érzékeny pont a vonat és a pálya közötti légrés fenntartása, hiszen a vonzó mágnesek össze akarnak érni. A lineáris motor veszteségei viszont a keletkezett légrés nagyságával köbösen változnak (2-szer akkora rés 8-szorosára, 3-szor akkora már 27-szeresére növeli a villamos veszteségeket) így az túl nagy sem lehet. A két mágnes összeérését ezért nagyteljesítményű számítógépek figyelik, amelyek a statikus, és dinamikus terhelésnek megfelelően állítják be a vonzóerőt, és másodpercenként akár 100 ezerszer is ellenőrzik a vonat és a pálya távolságát. A meghajtóegységek viszont így a pályába vannak beépítve, amivel az EMS-vonatok tömege kisebb lehet, természetesen ez együtt jár a pályaépítési költségek növekedésével. Az igazán nagy sebességű vonatokat ettől az EMS-felfüggesztéstől remélik (annak ellenére, hogy a jelenlegi maglev-sebességrekordot nem ilyen, hanem egy elektrodinamikus felfüggesztésű példány tartja), mivel a teljesítmény növelése nem növeli a vonatok tömegét, viszont nagyobb sebesség fejlettebb ellenőrző számítógépeket követel, ez pedig még a jelenlegi számítástechnika határait feszegeti.

Az elektrodinamikus felfüggesztés (EDS = ElectroDynamic Suspension) éppen ellenke-

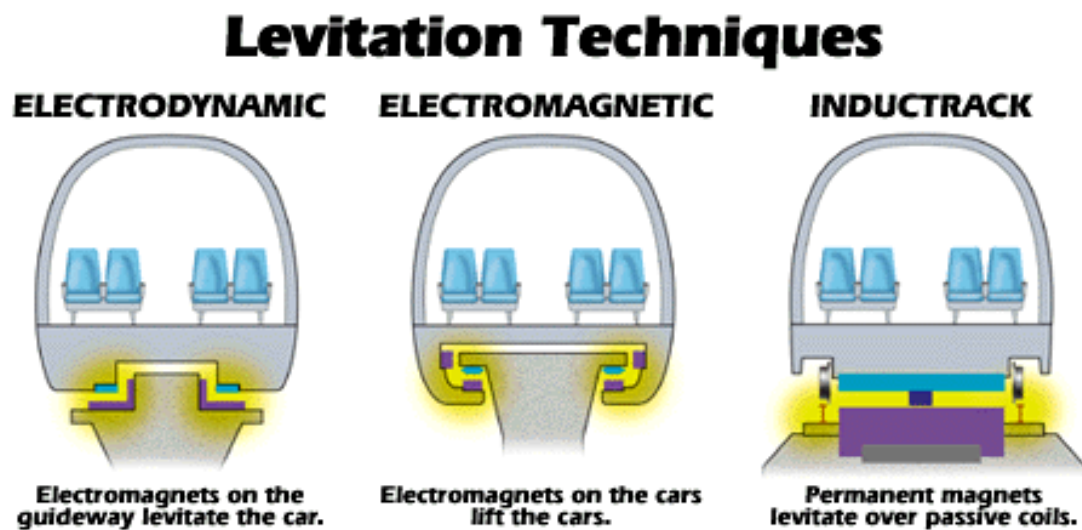
zól, a mágneses taszítás elvét hasznosítja. A vonat és pálya között létrejövő áramlás taszítóerőt kelt a mágnesekben, ami így megemeli a vonatot. A megoldás egy nagyon stabil, és nagy teherbírású rendszert eredményez, mert a taszítás annál erősebb, minél közelebb van a pálya és a vonat egymáshoz, így lehetetlen, hogy összeérjenek. A szupravezető mágnesek nagyon jó hatásfokkal működnek, szinte villamos veszteségek nélkül. Eredetileg hideg szupravezetéssel tudtak csak megfelelő hatásfokot elérni, amelynél $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál is hidegebb folyékony héliumot kellett használni, azonban 2005-ben sikerült meleg szupravezetéssel is megvalósítani, ahol a héliumnál jóval olcsóbb, „már csak” $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os folyékony nitrogén is elég volt az alacsony hőmérséklet biztosításához (a meleg fogalma tehát itt relatív; a szupravezető technikában a -190 fok is már melegnek számít). Hátránya, hogy a vonatot segédkerekekkel kell felszerelni, mert alacsony (40 km/h alatti) sebességeknél nem képes akkora taszítóerőt indukálni, hogy felemelkedhessen a pályáról, nagyon drága a gyártása, illetve bevetettségét legalábbis korlátozza, ha nem veszélyezteti a működésével járó erős mágneses mező, ami miatt pacemaker-rel élő utasok nem szállhatnak fel az EDS-felfüggesztésű vonatokra. Az elektrodinamikus vonatok a drága építési költségek miatt várhatóan inkább a városi vasutaknál terjedhetnek el, így az alacsony sebességeknél a már említett veszélyes mágneses mező sem okozhat akkora gondot.



A $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra hűtött szupravezető energia-befektetés nélkül lebeg a mágnespálya felett (Meissner-effektus)

Ezeknél újabb alfaja a felfüggesztéseknek az Inductrack, ahol a pályába épített állandó mágnesek emelik meg a vonatot. Az emelőerő a sebességgel egyenes arányban növekszik. Az Inductrack az ún. Halbach-tömbök segítségével működik, amelyek olyan permanens mágnesek, hogy az egyik oldalon képesek szinte nullára csökkenteni a mágneses fluxust (egyoldalú fluxusú mágneseknek is nevezik őket), így az emelésben csak a pálya vesz részt. További előnye, hogy az utasokat nem éri a maglev egyik legnagyobb veszélyének tartott elektroszmog, illetve, hogy relatíve olcsón előállítható. Az emelőmágnesek működtetéséhez nem kell plusz energia-befektetés, mivel azok a haladás során indukálódó árammal üzemelnek. Ha az áramellátás meg is szűnik, a vonatok tovább „gurulnak” tehát a mágnesek továbbra is biztosítanak emelőerőt, egészen a megállásig. Az Inductrack azonban még nagyon gyerekcipőben jár (az első teszt példány 2005-ben készült el), és mivel az emelőerő itt is sebes-

ségfüggő, az elektrodinamikus felfüggesztéshez hasonlóan szintén segédkerekeket igényel, bár itt már csak 5 km/h alatt van szükség rájuk.



Elektrodinamikus (balra), elektromágneses (középen) és Inductrack-felfüggesztés működési vázlata

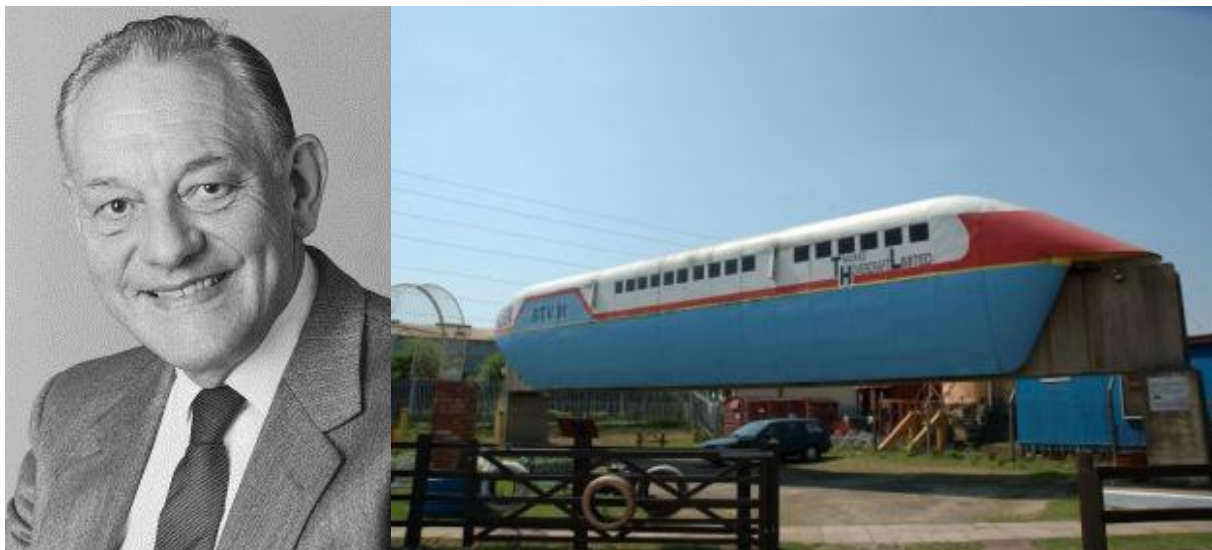
MAGLEV VONATOK NAPJAINKIG ÉS A JÖVŐBEN

Az első komoly próbálkozás: Eric Laithwaite és a Tracked Hovercraft

Ahogy a gőz- és gázturbinás mozdonyoknál Parsons, úgy a mágneses vonatoknál is volt egy ember, aki előrelátó gondolkodásával megalapozta annak jövőjét. Ő volt Eric Laithwaite, akit azóta is a „maglev apjának” tartanak. Bár a tudomány több ágában is jeleskedett, és ért el eredményeket, életének legnagyobb művei a mágnesvasutakhoz köthetők. A londoni Imperial College-nél dolgozó brit mérnök a 40-es évek végén elkészítette a világ első működőképes lineáris motorját, majd 1964-től komoly kísérleteket kezdtek el a vezetésével. Az ő nevéhez fűződött a világ első lineáris motoros nagysebességű kísérleti vasútja a Tracked Hovercraft (Kötőtpályás légpárnás jármű). A Tracked Hovercraft (TH) két zseniális brit találmányt egyesített: a lineáris motorokat, és a légpárnás lebegtetést. Mivel a kísérlet kezdetén még nem tudták a mágneses levitációt és meghajtást egy járművön belül megvalósítani, a járművet légpárnákkal emelték néhány centivel a talaj fölé, a hajtásról pedig a lineáris motor gondoskodott. A légpárnás megoldásnak még a vártnál is több előnye volt. Eredetileg azt gondolták, hogy a jármű megemelése sok energiába fog kerülni, de ez nagy sebességeknél előnyként jelentkezett; a hagyományos vonatok kerekei ugyanis 200-220 km/h fölött az oldalirányú ún. terelőrezgések miatt akkora menetellenállást fejtettek ki, hogy annak legyőzése nagy sebességeknél több energiába került, mint a TH-t a pálya fölé emelni. Mivel a járműnek nem volt közvetlen kapcsolata a pályával, nem kellett számolni a súrlódással sem. Ugyancsak a légpárnának köszönhetően a jármű tömegéből adódó súlyerő annak teljes alapterületére oszlott szét, így „tengelynyomása” mindössze 1/10 000-ed része volt egy normál

vonaténak, de még egy személyautóénál is 20-szor kisebb volt! Így a pályát nagyon könnyűre lehetett méretezni, ami további költségmegtakarítást eredményezett, a légpárna miatt szükségtelen felfüggesztésekről már nem is beszélve. A Hovertrain-ek elméletileg nemcsak vasúton, hanem közúton is képesek voltak haladni, a feltétel csak az volt, hogy megfelelően sima legyen az útpálya, hogy a jármű alá fújt levegő ne szökhessen el. Megemlítenéd, hogy 1960-ig nem gondolkoztak különösebben azon, hogy milyen erőforrással hajtásuk meg a kocsit, bár tervezték, hogy a légpárnás hajókhoz hasonlóan légcsavarral, vagy gázturbinával fogják felszerelni. Az ezekkel végzett kísérletek azonban rendre kudarccal végződtek. A projekt így 1961-ben kútba esni látszott, ekkor jelent meg a fedélzeten Eric Laithwaite, aki a lineáris indukciós motort javasolta hajtóegységként. Laithwaite 1962-ben tárgyalásokba kezdett a Brit Vasutakkal, hogy érdekelné-e őket egy nagysebességű, futurisztikus vasútvonal megépítése, amennyiben a kísérletek sikerrel zárulnak. A TH meghajtását egy nagyméretű, a vonat aljára erősített alumíniumlemezzel (az alumíniumnak az árához képest nagy a mágneses szuszceptibilitása, azaz „befogadóképessége”), és a pályába épített állórész-tekerccsekkel oldották meg. A tekercseken átfolyó áram mágneses mezeje hozta mozgásba a légpárnák által magasba emelt járművet. Ezen az elven alapszanak egyébként az azóta üzemelő maglev-vonatok is. Az első kísérleti jármű leginkább egy repülőgéptörzsre hasonlított, a vonat pályája fordított „T” betűre emlékeztetett, ezt vette közre a kocsit, a „T” felfelé néző szárán voltak elhelyezve a tekercsek, a vonat alján pedig az alumíniumlap. A járművet négy légbefúvó emelte meg. A kezdeti kísérletek kimutatták, hogy nagy sebességeknél a pályát nagymértékben igénybe veszi a vonat (a betonelemek, amikből a pálya épült, statikus terhelésre voltak méretezve), így új megoldás után kellett nézni. Végül az új pálya már egy álló „T” betűre hasonlított, a tetején a tekercsekkel. Az új kísérleti kocsit 1966-ban mutatták be. A projekt pénzügyei felett azonban ekkortájt kezdtek gyülekezni az első viharfelhők. A BR eközben nagyköltségvetésű tesztekkel végzett a normál vonatokat sújtó terelőrezgések kiküszöbölésére, amelyek sikerrel végződtek. Kiderült, hogy megfelelő tervezéssel meg lehet előzni a nagy sebességnél kialakuló káros rezgéseket, így az új vonatok már nem küzdöttek a nehézséggel. A vasúttársaság egyébként is szkeptikus volt egy olyan vontatási rendszerrel szemben, amelynek kimenetele kétséges volt, új, kipróbálatlan technológiára épült, és egyébként is drága, és más vonatok által nem használható pályát igényelt a kiépítése. A TH-tervezet kezdett kifutni a pénzből, az új szponzor az NRDC (National Research Development Corporation – Nemzeti Kutatási és Fejlesztési Társaság) csak úgy volt hajlandó 1 millió fonttal megtoldani a költségvetést, ha azt már az új pálya építésére fordítják, és azt remélte, hogy a további tesztek pénzügyi háttérét már a jövőbeli megrendelések fogják fedezni. Eközben a társaság beleolvadt a National Physical Laboratory-ba, és külön divízióként működött tovább. A kapott egymillió font azonban csak egy rövid pálya építésére volt elég. Az anyacég úgy vélte, ez is megfelelő lesz kis sebességű tesztek elvégzésére. Laithwaite-nek 1967-ben lett elege a BR érdektelenségéből, és a francia kormányhoz fordult segítségért, aki akkoriban a szintén légpárnás elven működő, de sugárhajtású Aérotrain-koncepcióhoz (később szó lesz róla) is nyújtott pénzügyi fedezetet. A tárgyalások sikerrel jártak, a projekt büdzséje 2 millió fonttal növekedett. A pénzből 1970-ben kezdték meg az építkezéseket, amikor újabb súlyos prob-

lémák merültek fel. Az új tesztjármű nagy sebességnél a tekercsre káros lökéshullámokat keltett, illetve az itt alkalmazott kétoldalas hosszúprimer-rendszerű lineáris motor nagyon felhevítette az alumíniumlemezt, így az egész rendszert át kellett tervezni egyoldalásra. Az elkészült pálya 2 méter magas, és 5 kilométer hosszú volt, noha eredetileg 30-40 km hosszúra tervezték, ami elegendő lett volna ahhoz, hogy a vonat akár az akkoriban hihetetlen 480 km/h sebességre is felgyorsuljon. Az első próbamenetet 1973. február 7-én tartották, ahol a rossz időjárási viszonyok ellenére az RTV-31 (RTV: Research Test Vehicle – Kutatási tesztjármű) 167 km/h sebességre gyorsult fel. Az eseményt közvetítette a BBC is, de a projekt csak azért volt érdekes a nézők számára, mert már akkor rebesgették, hogy a TH-projektet le fogják fújni (noha akkor még a francia kormány tagadta ezt). A brit kormány pedig még nem döntötte el, hogy milyen formában valósuljon meg a belföldi nagyvárosok közötti közlekedés; versenyben volt a már a gázturbinás motorvonatoknál bemutatott APT, a Hovertrain, illetve a repülőgép is. Az eredmények ismertek, városok közötti kapcsolatot végül is az APT-vonatok teremtték meg. A francia kormány sem akarta már tovább finanszírozni a tervet, és noha a végsőig kitartott, végül Laithwaite is otthagyta a társaságot, mivel ő ekkor már továbbfejlesztett, tisztán maglev-hajtású vonatokkal szeretett volna foglalkozni. A fejlesztési eredmények nem veszték azonban kárba, a későbbi németországi mágnesvasút-kísérletek, és a világ első kereskedelmi mágnesvasútjának, az 1984-ben megnyílt Birmingham Maglev építésének alapjául szolgáltak. A pályát később elbontották, az RTV-31-es kocsit egyik modellje a Hovercraft Museum-ban van kiállítva.



Eric Laithwaite (balra) és az RTV-31-es Tracked Hovercraft tesztjármű (jobbra)

A „mágneses folyó”

Az ok, amiért Laithwaite végül kilépett a Tracked Hovertrain-projektből, az volt, hogy 1974-ben feltalálta azt az eljárást, amely kisebb módosításokkal a mai napig a maglev-vonatok alapjait jelenti: az elektrodinamikus felfüggesztést, vagy „mágneses folyót”. Egészen addig nem tudták megoldani, hogy a lineáris motor egyszerre tudja megemelni, és mozgatni a vonatot, így az eddig elkészült mágnesvonatoknak csak a meghajtásáról gondoskodott villany-

motor. Az elektrodinamikus felfüggesztés ezzel szemben egy mágnescsoporttal oldja meg mindkét problémát, ahogy a folyó is egyszerre felszínen tartja és vezeti is a hajót. A transzverzális fluxusú mágnesek az „U” keresztmetszetű pálya két oldalán vannak elhelyezve és a tekercsekben folyó áram a vonat alján elhelyezett, vezetőanyagból készült lemezen keresztül emeli- és indítja meg a vonatot. Az elektrodinamikus felfüggesztés természetes stabil egyensúlyt biztosít, a vonat 6 szabadsági fokából 5-öt rögzít, egyedül hosszirányú mozgást engedélyez a kocsinak, amit a stabil egyensúly miatt nem is lehet kitéríteni belőle. Ha mégis megpróbáljuk, az egyik oldalon a lemez távolabb kerül a pálya oldalába épített mágnesektől, interferenciájuk lecsökken, így az magától visszatér az egyensúlyi helyzetbe. A felfüggesztés hatásfoka jónak mondható, egyedül a lemez szélessége a gyenge pontja, ami az interferencia-problémák miatt nem lehet se túl keskeny, se túl széles. Minél magasabbra kell emelni a vonatot, annál szélesebb lemez szükséges, de a magasság növelésével csökken a lineáris motor hatásfoka, így a gyakorlatban néhány centivel emelkedik csupán a vonat a pálya fölé.

Az első maglev: a MAGLEV

Szintén Angliához köthető az első kereskedelmi célú maglev-pálya megnyitása. Az 1984-ben, Birmingham-ben elindított, nemes egyszerűséggel MAGLEV-nek vagy Birmingham maglev-nek nevezett vasút a város repülőtérén működött, ahol a termináltól szállította az utasokat reptér vasútállomására. A pálya 585 méter hosszú volt, a kocsik 15 milliméterrel repültek felette. A vállalkozás sikeresen működött 11 évig, de aztán 1995-re az akkorra már elavult elektromos rendszer egyre több hibát kezdett produkálni, így abban az évben le is állították a vasutat. A kocsik közül az egyiket a Vasúttörténeti Múzeumban állították ki, a másikat értékesítették. A magasépítésű pálya ezután évekig használaton kívülre került, amíg 2001-ben újra fel nem fedezték. Az új vasút már sajnos nem mágnes- hanem drótkötélvontatással épült meg, 2003-ban adták át AirRail Link néven. A 2 darab kétkocsis, egyenként 54 személyes, 36 km/h-val haladó kocsik 90 másodperc alatt teszi meg az utat.



A Birmingham Maglev egyik kocsija a 80-as években (balra), és az új drótkötél-vontatású AirRail Link napjainkban (jobbra)

A berlini M-Bahn – A történelem áldozata

Angol testvérénél sokkal rövidebb idejű és szerencsétlenebb sorsú volt a berlini városi mágnesvasút, az M-Bahn. Megépültének előzményei szorosan összeforrnak Németország történelmével. A berlini U-Bahn (városi vasút) egy szakasza ugyanis éppen az 1961-ben megépült Berliini Fal „útjában” volt. A Nyugat-Berlinhez tartozó Gleisdreieck állomás, és az NDK-ba kerülő Potsdamer Platz megállóhely közötti szakaszt emiatt elbontották, ezzel teljesen elvágvá a két városrészt egymástól. A megszüntetett szakasz azonban nem csak Kelet és Nyugat között tette lehetetlenné a közlekedést, Nyugat-Berlin egyéb területei is elérhetetlenné váltak az U-Bahn-nal, viszont a Nyugat-berliniek továbbra is igényelték a vasúti kapcsolatot. Az új szakaszt kísérleti jelleggel mágnesvasútként akarták megépíteni, úgy tervezték, hogy siker esetén egyszer majd az egész U-Bahn hálózatot átépítik ilyenre. A pálya hossza 1,6 km, az engedélyezett maximális sebesség 80 km/h volt. Az M-Bahn az elhagyott Gleisdreieck állomást használta kiindulópontként, illetve a Falig tartó szakasz is a régi vasút oszlopaira épült. Itt Észak felé fordult, és a Fal mellett haladt a Potsdamer Platz-ig (a Potsdamer Platz-ot ugyanis pont kettévágta a Fal, így egyik része az NSZK-hoz, a másik az NDK-hoz tartozott. Az M-Bahn számára új megállóhelyet építettek). A vonalnak volt egy közbenső állomása is a Bernburger Strasse-nál. Az építkezések több mint 22 évvel az eredeti vonal feladása után, 1983-ban kezdődtek, a menetpróbák utasokkal 1984-ben, a Magnetbahn GmbH braunschweig-i telephelyén. A lineáris indukciós hosszúprimer-rendszerű motorokkal épített kocsik 1986-ban érkeztek meg, az átadást 1987 májusára tervezték, de a próbák során az egyik jármű kigyulladt, és teljesen kiégett, illetve egy másik vagon is súlyosan megrongált. Ezután még 4 új vonat érkezett a vasútra, amelynek átadása egyre csak tolódott, és nem volt jó ómen az sem, hogy 1988 decemberében az egyik kocsik nem tudott megállni Gleisdreieck állomás sínjeinek végén, és a mélybe zuhant. Szerencsére nem halt meg senki, mivel a vonatok vezető nélkül, automata üzemben működtek, bár a tervezők – félve az utasokban kialakuló pszichikai nyomástól, amit a vezető hiánya okoz – a menetrendi üzemben már emberi felügyelet mellett tervezték őket közlekedtetni. Nem hivatalosan a vonatok 1989 augusztusától kezdtek el járni, de a tesztek befejeztéig nem volt menetrendjük, és viteldíjat sem szedtek a használatukért. A hivatalos átadót végül már a Fal leomlása után, 1991 júliusában tartották meg. Így viszont a vonal már csak eső után volt köpönyeg, ugyanis Németország újraegyesítésével újra elérhető lett a Potsdamer Platz-i vasúti csomópont, így az újszerű vasútvonal okafogyottá vált. Az eredeti U-Bahn szakasz visszaépítésével ez az utasszámon is meglátszott, az M-Bahn-t ezután már alig használta valaki. A vonal leállítása szégyenszemre már két hónappal (!!!) az átadása után megtörtént, 1992 februárjára pedig a pályát is elbontották. Ezzel a berlini M-Bahn jogosan pályázhat a világ legrövidebb üzemidejű vasútja címre. A Potsdamer Platz és Gleisdreieck megállóhelyek újra az U-Bahn részeivé váltak, a Bernburger Strasse állomást pedig megszüntették, és lerombolták nem sokkal a pálya bezárása után. A vasúton szolgáló 8 vagon közül (amelyek között volt, amelyik nem is szállított utasokat) az egyiket, a 06-os pályaszámút őrizték meg, jelenleg a nürnbergi Közlekedési Múzeumban látható.

VASÚT ÉS TÖRTÉNELEM

LYUKAK A FALON: Berlin „határsértő” metróalagútjai



A berlini U-Bahn metróhálózat 1966-ban, amelyen a vastag drapp vonal jelöli a Falat. Az X-szel át-húzott állomásokon nem állhatott meg a vonat (szellemállomások), a vékony szaggatott vonallal jelölt viszonylatok megszüntetésre kerültek. A fehér üres szaggatott vonalak az akkor építés alatt álló metrókat jelentik.

Az M-Bahn elhelyezkedésével kapcsolatban érdekes téma merül fel: jóllehet a mágnesvasutat már a Fal megépülte után- és annak megfelelően építették, a Vassüggöny ezen szakasza több metróalagutat is átvágott. A kérdés: hogy oldották meg a kettévágott város közlekedését úgy, hogy az nem sértette a nemzetközi politikai helyzetet? A szegény NDK-ból Nyugatra szökő rezidensek találékonysága ez ügyben határtalan volt, ezért az alagutakat a lehető leggyorsabban el kellett zárni. Ebbe azonban az NSZK-nak is volt beleszó-lása, mert ezzel több vonaluk gyakorlatilag használhatatlanná vált volna. Ezért köztes

megoldás született. A Fal egyébként 4 metróvonalat érintett közvetlenül, az A, B, C és D vonalakat (1966-ban a metrók jelzése megváltozott, viszonylatokat számokkal jelölték.

Ma a 4 érintett vonal U1-U8-as számúként ismert). Az „A” vonalat a Fal gyakorlatilag kettévágta, a „B”-t egy állomással rövidítette meg. Előbbi esetében a vonatok mindkét „országban” a műszaki zárhoz legközelebbi állomásig közlekedtek, míg a „B” végállomása Nyugat-Berlinbe került, az NDK-ba átnyúló megállóhelyet megszüntették. A „C” és „D” viszonylatok nyomvonala viszont olyan volt, hogy csak bizonyos szakaszokon haladtak az NDK területén, ezeket a kommunista vezetés „állambiztonsági megfontolásból” be akarta zárni, de végül megállapodtak, hogy az NSZK évi 20 millió márkát (mai áron 50 millió eurót!!!) fizet csak azért, hogy a vonatok – szigorúan megállás nélkül – végighaladassanak a keleti területeken. Az itt található állomásokat az utasforgalom elől elzárták, bennük a határőrség, és az államvédelem (Stasi) állomásozott. Érdekesség, hogy a nyugati lakosság passzív ellenállása miatt ezek a vonalak egy idő után teljesen elnéptelenedtek, az utasok inkább kerülővel utaztak, csak ne kelljen a Szovjetuniót ily módon támogatniuk.

1989 novemberében, a határok megnyitása után 2 nappal a „B” vonalon található levágott állomást – a 30 évig csak Geisterbahnhof-nak (szellemállomás) csúfolt Jannowitzbrückét – megnyitották, így könnyítve az Nyugatra vándorló népek utazását. 1990 júliusáig az „A” és „B” vonalakon is eltávolították a műszaki zárat az alagutakban (ezzel feleslegessé téve a technológiájánál fogva elszigetelt M-Bahnt). 1993-ig az összes leromlott állapotú állomást felújították, illetve 2, időközben feladott megállóhelyet is újranyitottak. Az utolsó, megosztott Berlint idéző elemek 1995-ben tűntek el, kettő, az U1-U15 vonalakon levő állomás összekötésével (ezek már meg sem épültek, a kettéosztás előtt volt szó róluk). Berlinben jelenleg 10 metróvonal üzemel, 173 állomással, összesen 150 km hosszal (ebből 120 km a föld alatt) és évi félmilliárd szállított utassal.



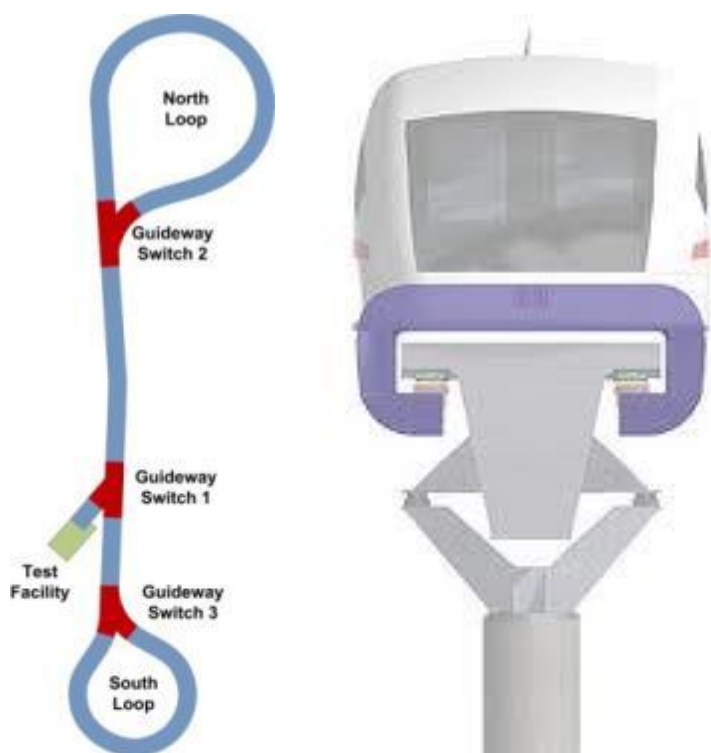
A berlini M-Bahn egyik szerelvény a Potsdamer platz-on, 1988-ban

A modern maglevetek megtestesítője – A Transrapid

Noha az M-Bahn-nal elbánt a történelem, még nem mondhatjuk, hogy Németországban kudarcra volt ítélve a mágnesvasút. Annyira nem, hogy innen származik az a vasút, amit máig a világ legsikeresebb maglevjének tartanak: a Transrapid. A német mágnesvasút története 1934-ig nyúlik vissza, amikor is Hermann Kemper német mérnök szabadalmaztatta a mágneses vonzáson alapuló (elektromágneses felfüggesztésű) maglev-vasútját. 1939 és 1943 között Göttingen-ben dolgoztak egy ilyen elven működő tesztjárművön, de Kemper csak 1953-ban mutatta be az első működőképes motort. A tervek alapján a Krauss-Maffei gyárban elkészült 1969-ben az első Transrapid próbajármű, a négyszemélyes, 90 km/h sebességre képes TR-01-es, majd 1971-ben a TR-02-es. A 02-es kocsi már figyelemre méltó sebességekre volt képes, a hatszemélyes jármű a 930 méteres körpályán egy alkalommal elérte a 164 km/h-s sebességet. A TR-03-as (1972), szintén hatszemélyes maglev-vonat még ugyancsak a Krauss-Maffei rövid, ezért nagysebességű tesztekre alkalmatlan pályáján rótt köreit, az 1974-ben elkészült, 20 személyes TR-04-eshez már egy valamivel hosszabb, 2,4 km hosszú maglev-pálya épült, amin 252 km/h-val új rekordot állított fel a lineáris motoros vasúti vonatatásban. Mind a Transrapid-projektben, mind a maglevetek történetében mérföldkőnek számított az 1979-ben elkészült TR-05-ös kocsi. A vonat háromrészes volt, és akár 68 utast is fel tudott venni, ez volt az első szerelvény, amely tényleg szállított is utasokat, bár civil utazóközönség csak kis sebességű (maximum 75 km/h) teszteteken utazhatott rajta. A TR-05-össel együtt kezdték meg az azóta is a Transrapid-vonatok főhadiszállásául szolgáló emsland-i maglev próbapálya építését, ami önmagában is figyelemre méltó alkotás. A közel 32 km hosszú kész pályát már a jóval modernebb, 1984-ben elkészült TR-06-os avatta fel, rögtön új sebességcsúcsot (302 km/h) felállítva, amit később még jó néhányszor megjavított. 1987 decemberében elérte a hihetetlen 406 km/h-t, majd egy hónapra rá 413 km/h-val száguldott.

Az emslandi próbapálya a legismertebb mágnesvasút napjainkban. A 31,6 km hosszú létesítményt jelenleg a Siemens és a ThyssenKrupp cégek üzemeltetik, a német vasutak évi 1,2 milliárd euróval a projekt fő támogatója. A pálya mindkét vége hurkokkal tér vissza önmagába, az egyik oldalt 1000- a másikon 1680 méteres pályáívsugárral, az ívsugarakban 12 fokos túlemeléssel. Az egész szerkezet átlagosan 3-6 méterrel a föld felett (legalacsonyabb oszlopa 2,2-, a legmagasabb 20 méteres), előfeszített vasbeton tartóoszlopokon fut (a hurkok egy-egy szakaszán acéloszlopok is találhatóak), szintbeli keresztezések nincsenek. A pálya egyenes szakaszának közepén van egy váltó, illetve kiágazás a járműtelepre. Az engedélyezett maximális sebesség utasokkal 420 km/h, de a szerkezet úgy lett megtervezve, hogy akár 550 km/h sebességgel is lehessen közlekedni rajta. A váltón egyenes állásban „csak” 400-zal, kitérő állásban 200-zal lehet haladni. Mivel a TR-05-től kezdve a Transrapid vonatok elektromágneses felfüggesztést alkalmaznak hosszú-primer rendszerű lineáris motorral (a TR-04-esig rövidprimit rendszerrel készültek, ezért voltak a korai kocsik olyan kis befogadóképességűek), a tekercsek itt a pályába vannak beépítve, az pedig 56 szegmensre van felosztva, mindig csak az a szegmens kap áramot, amelyiken a vonat halad, ezzel csökkentik a veszteségeket. Az emsland-i tesztkomplexum egyébként bárki által látogatható, és előjegy-

zések alapon a vonatokkal is lehet utazni. 1984 óta évente több mint 200 ezer utast szállítanak a különböző szerelvények, miközben 550 ezer kilométert tesznek meg. Komoly baleset egyszer fordult elő: 2006. szeptember 22-én a TR-08-as kocsí mintegy 170 km/h-val belerohant a pályán felejtett karbantartó vagonba, amely a vezérlőkocsit szinte teljesen összetörte. A vagonban utazók közül 23-an életüket veszítették, és sok súlyos sérült is volt. A balesetet tehát emberi mulasztás okozta, de elkerülhető lett volna, ha a vonatokba ütközés-elhárító berendezést szerelnek, amely másik járművet érzékelvén azonnal megállítja a szerelvényt.



Az emsland-i maglev tesztpálya alaprajza (balra) és keresztmetszete (jobbra)

A fejlesztések az új pálya átadásával nem álltak meg. A TR-06-ost 1989-ben leváltó kétszekciós TR-07-es már eleve 450 km/h utazósebességre lett tervezve, az 1999-ben debütáló TR-08-as pedig háromrészese és 311 utas befogadására alkalmas volt. A vonat 450 km/h-nál 6 MW (kb. 8200 LE) teljesítményt igényel, ami fele egy ugyanilyen sebességre képes hagyományos motorvonaténak. A létesítmény teljes energiafelhasználását a közeli szél erőmű biztosítja, így a vonatok egyáltalán nem terhelik a környezetet. A pályán jelenleg a 08-as balesete után, 2007-ben üzembe állított TR-09-es, szintén háromrészese vonatok dolgoznak, utazósebességük 500-, tervezési sebességük pedig 550 km/h. Mára azonban a pálya már kezd elavulni, így a jövőben – ha megfelelő szponzort találnak – felújítás várható. Lévén hogy ez a világ egyik legjelentősebb mágnesvasút-tervezete, és a technológia fejlesztésének orosz-lánrésze is a projekt keretében zajlik, ez a befektetés hosszútávon megtérülésre számíthat. 2005-től kezdve a vonatok már vezető nélküli üzemben közlekednek, ez Európában az egyetlen olyan utasszállító vasút, amelynél engedélyezték az automata üzemmódot.





Transrapid-szerelvények az olvasás sorrendjében: TR-01 (1969-71), TR-02 (1971-72), TR-03 (1972-74), TR-04 (1974-79), TR-05 (1979-84) TR-06 (1984-89), TR-07 (1989-99), TR-08 (1999-2006), TR-09 (2007-)

32 km 7 és fél perc alatt – A sanghaji Transrapid-vonal

A nagy siker hatására megépítése óta rengeteg terv született a Transrapid-rendszerű vasutak kereskedelmi alkalmazására, ám ezekből a hatalmas költségek miatt napjainkig mindössze egyetlen valósult meg; 2004. január 1-jétől közlekedik Shanghai-ban a Pudong Nemzetközi Repülőtér és Pudong városrész központja között a Shanghai Transrapid-nak, vagy hivatalosan Shanghai Maglev Train-nek nevezett vasút. A munkálatok 2001-ben kezdődtek meg, a kocsikat a Siemens szállította, az ötrészes egységek a TR-08-as kísérleti jármű alapján készültek. A vonalon az engedélyezett sebesség 431 km/h, de 2003 novemberében a menetpróbák során az egyik kocsi 501 km/h-val száguldott. A 30 kilométeres út 7 perc 20 másodpercig tart (ebből 90 másodpercig száguldanak a vonatok 430-431 km/h-val, ami talán nem tűnik soknak, de azalatt a 30 km-es út egyharmadát megteszik), az átlagsebesség 220-250 km/h körüli, a vonatok reggel és este 15 percenként, napközben 10 percenként közlekednek. A Shanghai Transrapid egyébként hivatalosan a város metróhálózatához tartozik, annak ellenére, hogy egészen más rendszer szerint működik, valamint a díjszabás is eltérő. A vonatokon két osztály van, egy jegy ára a másodosztályon 2012-ben 40 jüan (4 euró), ha valaki repülőjeggyel utazik, egyébként 50 jüan egy irányba, 80 jüan a retúrjegy, első osztályon pedig ennek kétszerese. A vasút megépítése kb. 1 milliárd euróba került. A kínai kormány a közel múltig tervezte a vonal kibővítését, első ütemben Shanghai Déli Főpályaudvaron keresztül Hongquiao reptérig (ez 55 km-es hosszabbítást jelent), majd második lépésben Hangzhou városáig, amellyel együtt a vonal hossza elérte volna a 169 kilométert. Az újonnan épült vasúton engedélyezett sebesség a tervek szerint 450-500 km/h lett volna, amivel a teljes táv

megtétele 25-27 percig tart. Sajnos azonban a pénzügyi válság keresztülhúzta a számításokat. A kész vasutat eredetileg a 2010 végén tartott Expo2010 kiállításra akarták átadni, de 2008-ban a lakók közül – akiknek a lakhelyén keresztülhaladt volna a vasút – többen a környezetvédekkel együtt tiltakozásokba kezdtek a várható erős mágneses tér veszélyei miatt. A német tervezők egyébként 300 méteres biztonsági sávot javasoltak a vasút környékén (ezen a sávon belül nem lehetett volna lakóház, vagy egyéb intézmény), ez a sűrűn lakott területen nem volt megoldható, a pálya sok helyen csak 20 méterre haladt volna a házaktól. Szó volt arról, hogy ezeken a területeken a vonatok 200 km/h-s sebességkorlátozás mellett közlekednének, de ez egyrészt jelentős menetidő-növekedést jelentett volna, másrészt a tiltakozóknak ez sem felelt meg, így egy kérvényt nyújtottak be a polgármesternek, arra kérve, hogy ne engedélyezze a vasút építését. Jóllehet a petíciót elutasították, a két város közötti összeköttetés végül 2010 októberében a Shanghai-Hangzhou nagysebességű normál vasúttal – jóval olcsóbban – valósult meg. Az itt közlekedő CRH380A típusú motorvonatok 350 km/h-s utazósebességgel még így is a világ leggyorsabbjai közé tartoznak, a két város közötti távolságot 45 perc alatt teszik meg, ami alig több mint amennyi a Transrapid tervezett menetideje lett volna. Ezzel pedig végképp feleslegessé tették a tervezett maglev-vonalat.



A Shanghai Transrapid egyik ötkocsis szerelvénye (fent) és a Sanghai-Hangzhou maglev helyett megépült hagyományos vasút egyik CRH500-as vonata (túloldalt fent). Végsebessége várhatóan 500 km/h felett alakul, a tesztek 2012 folyamán kezdik meg. A vonat háromfázisú aszinkron vontatómotorjainak összteljesítménye 31 ezer lóerő, amivel ez a világ legnagyobb teljesítményű vonata is egyben



Nem eszik olyan forrón – füstbement Transrapid-tervek

A shanghai vasútvonalon kívül a megvalósuláshoz a legközelebb talán a müncheni reptéri mágnesvasút állt. A vonal München központi pályaudvarától a nemzetközi repülőtérig vezetett volna, a projektet a tervezési fázis elkészülte után, 2008 márciusában fűjták le, miután a költségvetés jelentősen átlépte a tervezettet. Egyébként maga az építkezés is heves ellenállásba ütközött volna a helyi lakosok körében, akik féltek a vonatok által keltett erős mágneses mezőtől, illetve a magas zajszint miatt ingatlanjaik elértéktelenedésétől is tartottak. A 40 kilométer hosszú tervezett maglev-vonal építésére eredetileg 1,85 milliárd eurót különítettek el, de a későbbi tanulmányok – egy utólag betervezett alagút miatt – már 3 milliárd euró fölötti költséget vetítettek előre. Erre viszont már nem volt pénze az építető DB-nek (Német Vasutak), így a projekt leállítása mellett döntött.

Sajnos szintén kudarcba fulladt a sokáig a világ majdani első mágneses InterCity vonalának tartott München-Hamburg vonal is. A vasutat évtizedek óta tervezték összhangban a Transrapid-vonatokkal. Az eredeti tervek szerint a 292 km hosszú utat a TR-07-es szerelvények alapján gyártott 10 részes vonatok kevesebb, mint egy óra alatt tették volna meg, 450 km/h utazósebességgel. Sajnos a projekt itt is kútba esett a hatalmas várható költségek, és amiatt, hogy a viszonylaton már közlekedett hagyományos ICE vonat. A maglevvel ugyan leváltották volna a 160 km/h-es sebességre engedélyezett vasutat, de a hatástanulmány gazdaságosabbnak ítélte, ha inkább a meglévő vonalat fejlesztik fel 250 km/h-ra. A München-Hamburg vasút kiszolgálására az akkor újnak számító ICE-3-as szerelvényekből is vásároltak, ezzel jóval olcsóbban megoldva a két város közötti közlekedést. A DB akkori anyagi helyzete egyébként is lehetetlenné tette az akkori áron több tízmilliárd márkás költségvetésű építkezéseket, ezért a tervekből később sem lett semmi.

Irán is érdeklődött a Transrapid vonatok iránt. A 2007-es tervekben egy Teheránt és Mashhad városát összekötő, 900 km hosszú vasútvonal szerepelt, aminek menetidejét a mágnesvonatokkal 2 és fél óra alá szerették volna leshorítani. Az építkezés költségvetését 10-12 milliárd euróra becsülték, és a tárgyalások is megkezdődtek egy német mérnöki kamará-

val, azonban a vonatokat gyártó Transrapid-hoz már nem érkeztek meg a megrendelések. Később már a müncheni iroda is tagadta, hogy bármilyen előrelépés történt volna az ügyben.

Ezekén felül több országban is felröppentek kósza hírek a Transrapid-mágnesvasút bevezetésére. Nagy-Britanniában egy Londont és Glasgow-t, illetve Edinburgh-t összekötő vonal építéséről volt szó egy időben, de 2007 júliusában lefűjták a tervet. Svájcban a SwissRapide AG három viszonylatban is akar közlekedtetni Transrapid típusú vonatokat: Bern-Zürich, Genf-Lausanne és Zürich-Winterthur között. A közeljövőben Bahrein és Katar is beszállna egy két ország közötti nemzetközi vasút építésébe, ami egyébként ebben a műfajban a legelső lenne, de a 2011-es „arab tavasz” eseményei hátráltatják, ha nem ellehetetlenítik az építés elkezdését.

A Transrapid-ok kihívói: A japán JR Maglev projekt kocsijai:

A Transrapid-ok után talán a második legsikeresebb képviselői a lineáris motoros meghajtásnak a japán JR-Maglev vonatok. Ugyan kereskedelmi forgalomba még nem került belőlük, számos rekordot tartanak, és technikai fejlettségük is meghaladja a német vonatokét. A JR-Maglev a Transrapidokkal ellentétben, hosszúprimer-rendszerű elektrodinamikus felfüggesztést alkalmaznak szupravezető mágnesekkel, a meghajtásról lineáris szinkronmotor gondoskodik. Japánban 1962 óta folynak kísérletek a mágneslevitációs járművekkel, és 1977-re készült egy 7 kilométer hosszú tesztpálya, amin 1979-ben 517 km/h-t értek el az első generációs ML-500 pályaszámú járművel. A maglev vonatok nagyvasúti alkalmazása itt napjainkra került elérhető közelségbe.

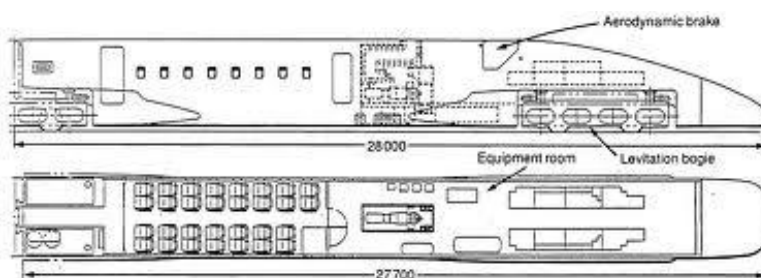


A JR-Maglev első tagja, az ML-500-as a Japán Vasúti Múzeumban

Az ML-széria utódjának szánt, 1980-ban kifejlesztett MLU-sorozat tagjai az 001-es és 002-es kocsik voltak, ám utóbbi sajnos tűz martalékává vált. A 002-es helyére épített MLU-002-N gépet 1993-1994-ben helyezték forgalomba, és megfelelt az elvárásoknak. A vonat teljesen automatizált vezérlésű volt, vezetése irányítóközpontból történt. Az MLU-002-N 1995-ös próbamenete során utas nélkül 431, utasokkal pedig 411 km/h sebességet ért el. A legmodernebbnek számító, szupravezérlésű mágneses lebegtetőrendszer is ebben az évben jelent meg, és ez fordulópontot jelentett a japán mágneslevitációs projektben. Ekkor készült el ugyanis a JR Central által épített háromkocsis „szupravezérlésű mágnesesen lebegtetett lineáris motorkocsi”, vagyis SMLLMC (az angol **S**upraprocessed **M**agnetic **L**evitation **L**inear **M**otor **C**ar mozaikszava), melyet Yamanashi-ban, Tokyo-tól 90 kilométerre, nyugatra, a Fuji hegy mellett épült 16,8 kilométer hosszú próbapályán teszteltek. A próbák 1997-ben kezdődtek, és a megcélzott sebességhatár 550 km/h volt. A szakasz egyik végén egy járműszínt, közepén pedig egy irányítóközpontot építettek. A vonal nagy része – 14,6 kilométer – alagútban halad, van rajta egy 40 ‰-es emelkedő is, a legkisebb pályáívsugár pedig 8000 méteres. Az U keresztmetszetű pályába építették a kétrétegű szigetelővel ellátott előrehajló mágnesetekercseket, melyeket a vonal mellett épült állomásokból érkező, inverterekkel átalakított változtatható feszültségű- és frekvenciájú árammal táplálták. A tekercseket epoxigyantával szigetelték 22 kV-ra. A pálya egy szakaszán csak egyrétegű szigetelést alkalmaztak, úgy tervezték, hogy kedvező tapasztalatok esetén áttérnek arra, ami jelentősen csökkentheti pályaeépítés költségeit. A legérdekesebb technikai megoldással azonban a járművek fedélzetén találkozhatunk. Itt helyezték el ugyanis a tekercselésekben folyékony héliummal – 269 °C-osra hűtött niobium-titánium ötvözetből készült kábeleket, melyeknek köszönhetően jelentős mértékben visszaszorították a hőveszteséget, ez pedig hatásfok-növekedést eredményezett. Ez abban is meglátszott, hogy míg az 1991-es MLU-002-ben a hőveszteség 500 km/h fölött elérte a 80 W-ot, addig a szupravezérlésű SMLLMC esetében ezt sikerült 8 W alá szorítani, vagyis villamos hatásfoka megközelítette a 100 %-ot. A járműszínekben tárolták a járműveken használt folyékony hélium pótlására szolgáló gázkészleteket, amivel az elpárolgott héliumot pótolták, illetve tisztították és újracseppfolyósították. A járműszerkevény keskenyebb volt az akkoriban legmodernebb, hagyományos 300X motorkocsiénál, és a repülőgépgyártásban használatos anyagokból készült. Ez egy olyan könnyűszerkezetes járműszerkevény konstrukciót eredményezett, ami ellenállt az alagutakba be- illetve azokból kihaladás esetén fellépő nyomásingadozásoknak. A vonatok megállítását a Transrapid-hoz hasonló rekuperációs, ellenállásos fékekkel oldották meg, de alkalmaztak kevlárötvözetből készült tárcsákkal felszerelt tárcsafék-rendszert is. Ezek arra is képesek, hogy a vonatot 550 km/h-ról megállítsák, még a tervezett 40 ‰-es lejtőknél jóval meredekebbeken is. A fékek hatékonyságát jellemezte, hogy a próbák során vörösizzásig hevítették őket, de a fékhatás nem csökkent. E kísérletekkel egy időben tervezték a második generációs, ötkocsis SMLLMC-vonat megépítését, amely a mágneses térben nagy sebességgel való haladás során indukált villamos áramot használta volna a légkondicionálás, világítás, a héliumhűtés és az egyéb segédüzemi berendezések energiaszükségletének fedezésére, de végül teljesen új széria elkezdése mellett döntöttek.



Az MLU-001-es (balra) és 002-es (jobbra) kísérleti kocsik

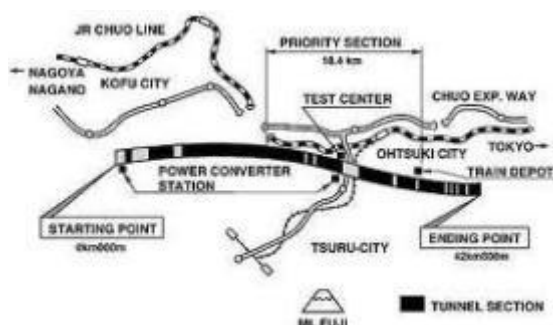


Balra: MLU-002-N nyitott fékszárnyakkal, jobbra: az SMLLMC vonat jellegrajza

A SMLLMC-vonatot leváltó MLX-sorozat tagjai talán napjaink legmodernebb vonatai. 1997-ben készült el az első, háromkocsis egység, az MLX-001, amely azonnal sebességrekordot állított fel, 531 km/h-val. Az vonatnak – mivel elektrodinamikus felfüggesztéssel rendelkezik – segédkerekei is vannak, amelyek 150 km/h fölött húzódnak be. A 001-es egy későbbi, ötkocsis változata 1999-ben 551 km/h-val ezt is megjavította, majd 2003 decemberében minden eddiginél gyorsabban, 581 km/h-val száguldott, ami azóta is a vasúti vontatás abszolút sebességrekordjának számít. Az igazsághoz azonban hozzátartozik, hogy a hagyományos elven működő TGV egyik tesztjárműve, a TGV POS V150-es 2007-ben mindössze 6 km/h-val ment lassabban, amivel megkérdőjelezi a külön pályát és infrastruktúrát igénylő maglevvek létjogosultságát.

Bátor tervek: a Yamanashi tesztpálya és a majdani Chuo Shinkansen:

A Yamanashi tesztpályát jelenleg bővítik, a munkálatok befejezése után 42,3 km hosszú lesz, és a jövőben megnyíló Chuo Shinkansen mágnesvasútra készülő LO sorozatú, ultra-modern maglev-vonatok tesztpályájának szánják. A várhatóan 2013 nyarán újra megnyíló pályán már fizető utasok is utazhatnak az 500 km/h sebességgel száguldó vonatokon.



Az MLX-sorozat két motorvonata az MLX-001, és a 02. A bal alsó képen a Yamanashi-tesztpálya nyomvonala látható, jobboldalt pedig a majdani Chuo Shinkansen-re tervezett L0-s maglev vonatok egyik látványterve.

A Chuo Shinkansen lesz az első igazi városközi forgalmat lebonyolító mágnesvasút. Az építési engedélyt 2011 májusában kapta meg, a munkálatok legkorábban 2014-ben kezdődhetnek. A vonatokat üzemeltető JR Central vasúttársaság úgy tervezi, hogy a vonal első, Tokió és Nagoya közötti szakasza 2027-re, az Osakáig tartó rész pedig 2045-re lehet kész. A Chuo Fővonal építése a világ legnagyobb, és legköltségesebb vállalkozásai közé tartozik. Az első, kb. 300-350 km hosszú vonal építése a tervek szerint 5-6 billió jenbe (50-60 milliárd euróba!!!) kerülhet, a második, kb. 450-500 km-es szakasz további 8-10 billió jennel (80-100 milliárd euró) dobja meg a költségeket! A projekt azért kerül ilyen sokba, mert okulva a kínai és a német mágnesvasutak építését nehezítő illetve megakadályozó polgári tiltakozásokból, a JR Central a lakott területeket érintő vonalszakaszokat a föld alatt építi ki, 40 méter mélyen haladva. Tekintve az érintett városok kiterjedését, ez azt jelenti, hogy a 900 km-es vasútvo-

nal több mint 60%-ának, azaz kb. 550 km-nek kell a felszín alatt futnia, beleértve a tokiói megapolisz alatti 100 km-es (!!!) alagutat, ami egyébként a világ leghosszabbja lesz majd. Ez pedig valóban hatalmas összegeket emészthet fel. A Chuo Shinkansen-en az engedélyezett maximális sebesség egyébként 505 km/h lesz, így a vonatok kb. 2 óra alatt teszik meg a teljes utat. A bátor vasúttársaság nem tart igényt állami támogatásra, és úgy számolja, hogy a második szakaszt már teljes egészében az első szakasz üzemeltetéséből befolyó összegekből építheti meg! Őszintén reméljük, hogy meg fog valósulni ez a grandiózus projekt!



Egy művészi elképzelés a Chuo Shinkansenről (balra) és a pálya tervezett nyomvonala

Egyéb pályák: kísérleti és tehermaglevék

A japán és német tesztpályákon kívül számos más, kisebb sebességű pálya létezik a világon. Az egyik ilyen az USA-beli San Diego-i General Atomics részvénytársaságnál található, a meglehetősen rövid, mindössze 120 méteres maglev-pálya egyébként az egyetlen teherszállításra használt ilyen vasút a világon. A pálya a Union Pacific teherpályaudvar vágányai mellől vezet a cég telephelyére. A teherkocsikat állandó mágnesekkel emelik- és hajtják meg. A társaság a jövőben személyszállításra alkalmas vagonokat is üzembe állít majd. A General Atomics-nál üzemelő vonatokat a szintén amerikai FTA-nál (Federal Transit Administration – Szövetségi Szállítási Iroda) fejlesztették ki Maryland-ben. A cég finanszírozza a Kaliforniai Egyetem maglev-kísérleteit is, amelyek keretében a jövőbeli szupravezető mágneses személyszállító vonatok készülnek.

A világon működő tesztpályák közül jelentősebb még a kínai Délnyugat-Jiaotong Egyetem területén található maglev-vasút. A 2001-ben elkészült pálya, és az ott dolgozó kocsik szintén EDS-felfüggesztésűek – a mágnesek meleg szupravezetésűek, hűtésük folyékony nitrogénnel történik (ezzel jóval olcsóbb, mint a hideg szupravezetésnél használt folyékony hélium). A vagonok maximális terhelhetősége 500 kg körül van.



A General Atomics telephelyén működő tehermaglev

Városi mágnesvasutak, mágneses metrók

A már bemutatott nagysebességű mágnesvasutak mellett üzemelnek még lassabb, városban használt rendszerek a világon. Sajnos a hatalmas építési- és fenntartási költségek miatt mindegyikük pénzügyi nehézségekkel küzd, jelentőségük inkább újszerűségükben rejlik, hiszen egy ország vagy város számára reklámnak sem utolsó a „jövő vasútja”. Ilyen a Japánban, Aichi prefektúrában működő helyi mágneses magasvasút, a „Linimo”. Az építkezéseket 2001-ben kezdték, és 2005-ben fejezték be, a vonatok maximális sebessége 100 km/h, felépítésük leginkább a Birmingham Maglev-re emlékeztet. A vonal 9 km hosszú, és található rajta a hagyományos vonatok által leküzdhetetlen 6 százalékos emelkedő, valamint nagyon szűk, 75 méteres ívsugarú kanyar is. Az építkezés nagyon megterhelte Nagoya város költségvetését; a pálya 600- míg a rajta üzemelő kocsik összesen további 400 millió euróba kerültek. Sajnos a vonal azóta is pénzügyi gondokkal küzd, és üzemelésére az átgondolatlan koncepció is rányomta a bélyegét. A vonatok maximális utasszállító képessége ugyanis egy irányba maximum 4000 utas óránként (a budapesti 2-es és 3-as metró ide vonatkozó adatai 23 000, ill. 28 200 utas/óra). A megnyitás utáni hetekben annyian akartak a vasúttal utazni, hogy mindennapos volt, hogy az utazók egy része nem tudott felszállni a kocsikra, azok pedig a nagy terhelés miatt nem tudtak felemelkedni a pályáról! A kezdeti lelkesedés alábbhagyásával a helyzet javult valamelyest, ám a kis kapacitású (242 fő/szerelvény, ennyien férnek a budapesti metrószerelvények egy kocsijába) vonatok miatt nem valószínű, hogy a vállalkozás valaha is behozza az árát. A vasútnak még a működési költségeket sem sikerül megtermelnie,

2006-ban 30-, 2009-ben 21 millió euró veszteséggel működött a társaság. Nem javít a helyzeten az sem, hogy a magasépítésű, dobozformájú vagonok nagyon szélérzékenyek, így a vonalat 90 km/h-nál nagyobb szélben le kell állítani, ekkora szél pedig azon a területen elég gyakran előfordul. A vonalat ennek ellenére sokan használják, 2005-ben 3 hónap alatt 10 millióan utaztak rajta, azóta pedig már túl van a 100 milliomodik utason is. Tajvan is érdeklődött a projekt iránt, egy tajpei-i magasvasutat akartak építeni ugyanilyen vonatokkal, de 2007-ben sajnos lefűjték a tervezetet.



Aichi prefektúra maglev-vasútja: a Linimo

Megemlíthető még a dél-koreai Daejeon város rövid, de működő vasútja. A vonatokat az 1993-as Deajeon Expo-ra készítette el a Hyundai járműgyár, és mint ilyenek, a világ első, kereskedelmi forgalmat teljesítő, elektromágneses felfüggesztésű egységei voltak. A HML-01, és 02-es pályaszámú motorkocsik még csak előszériás példányok voltak, a 2008-ban megnyitott 1 km hosszú pályára már a továbbfejlesztett UTM-01-es kocsik kerültek, majd nem sokkal később elkészült az UTM-02-es is, valamint a világ első maglev-szimulátora. A vonalat jelenleg bővíti, a városi repülőtér lesz az új végállomás, az átadás pedig 2012 végére várható, akkor érkezik meg a teljesen új UTM-03-as szerelvény is.

Az elkészüléshez a legközelebb jelenleg a Pekingi S1-es metróvonal áll, amit már mágnesvasútként épített a város önkormányzata. Az építkezés 2011 februárjában kezdődött, az átadás 2013-2014-re várható (hét normál metróvonal is épül ezzel együtt). A 10 km hosszú vonalon a maximális sebesség 105 km/h lesz.



A daejeon-i városi vasút (balra), és a pekingi maglev-földalatti kocsija tesztelésen (jobbra)

Kísérleti maglev-vasutak



Az Old Dominion Egyetem saját mágnesvasútjának kocsija

A fenti vasúton kívül még néhány kisebb vonalon zajlanak az építkezések. Amerikában két rövid projektről tudunk, az egyik az Old Dominion University saját, kb. 1 km-es pályája (Norfolk, Virginia), ez azonban rengeteg problémával küzd. A kész vonatot 2010 végére ígérték, de számos kudarc után 2009-ben jegelték a programot, miután több mint 14 millió dollárt költöttek el rá. A vonatokat gyártó AMT társaság jelenleg is dolgozik a továbbfejlesztett prototípuson. A california-i Santa Barbarában is található egy rövid, fedett gyáracsarnokot ellátó maglev vasút, amit jelenleg egy 400 méter hosszú szakasszal toldanak meg

A már megépült és épülő vasutaknál sokkal több terv vár megvalósításra, bár ezek nagy része nem, vagy csak a távoli jövőben kaphat zöld utat. Ausztráliában mindjárt két elővárosi vasutat is terveznek, egyet Sydney, egyet pedig Melbourne bejárói számára. A Sydney maglev a nagyváros Illawara kerülete és központ között épülne meg, ezzel 20 ezer ember dolgát könnyítené meg. Jelenleg 2 óráig tart számukra a bejutás, a vasút átadásával ez 20 percre rövidülne. A melbourne-i projekt a város összes nagyobb elővárosát felfűzné, ingázók

százezreinek jelentene könnyebbséget. 2008-ban vetődött fel az építés ötlete, de jelenleg finanszírozóra vár, a vasút ugyanis átszámítva kb. 8 milliárd euróba kerülne, ennyi pénze pedig nincs a helyi önkormányzatnak.

Dél-Amerikában is vannak érdeklődők a mágnesvasút iránt. A venezuelai TELMAGV társaság a fővárost, Caracas-t a közeli La Guaira kikötőt, valamint a nemzetközi repülőtérrel kötné össze egy 9 kilométeres elővárosi vasúttal. Az országban már létezik egy 1 km hosszú próbapálya, ahol tesztekkel győződnének meg arról, hogy érdemes-e befektetni egy ilyen vállalkozásba. Azért lenne fontos a mágnesvasút, mert a nyomvonal két végállomása közötti szintkülönbség több mint 800 méter, ezt pedig hagyományos vonatokkal nehezen lehetne leküzdeni.



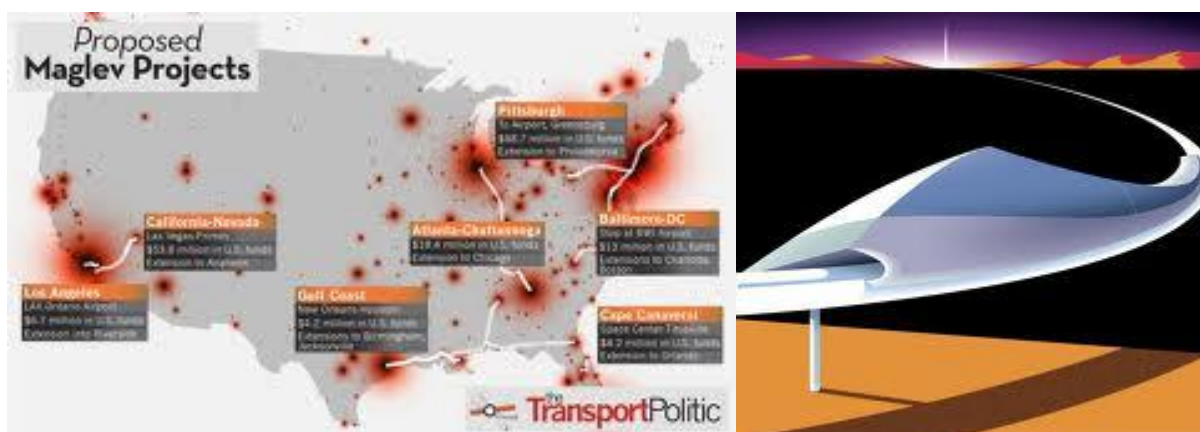
A venezuelai TELMAGV modellvonata

Tervek, tervek, tervek...

Ázsiában a „kis tigris” országokon és Kínán kívül Indiában is van szó arról, hogy a jövőben mágnesvasút épüljön. Jelenleg egy – az ország két legfontosabb városát – Mumbai-t és Új-Delhit összekötő, mintegy 1000 km hosszú mágnesvasutat vizionál a közlekedési minisztérium. Mivel az Indiai Vasutak a világ legnagyobb vállalatai közé tartozik, a pénzügyi háttér is megvan hozzá, továbbá a vasúttól azt is remélik, hogy végre fellendülést hoz az általa keresztezett Ahmednagar, Beed, Latur, Nanded és Yavatmal tartományokba, amelyek egyébként a Föld legszegényebb helyei közé tartoznak. Egyelőre azonban még a tervek sincsenek kész, és arról sem született döntés, hogy mikor kezdődjön az építkezés, így – ha egyáltalán megvalósul – sok évnek kell eltelnie, míg Indiában is találkozhatunk kerék nélküli

vonatokkal. A harmadik világban egyébként nem India az egyetlen ország, amely ilyen beruházást tervez; Indonéziában a főváros, Jakarta és a tőle 680 km-re fekvő Surabaya városa között épülne mágnesvasút, ha találnának megfelelő finanszírozót.

Amerikában már konkrétabb tervek léteznek. Az UP vasúttársaság a Los Angeles-i teherpályaudvar és Long Beach kikötője között tervez egy 9 km hosszú teherszállító maglev vasutat, illetve szintén Los Angeles és a nevadai Las Vegas között is építenének egy nagysebességű államközi vonalat, bár az utóbbira nem sok esély mutatkozik, mivel a szenátus elzárkózott a projekt finanszírozásától. A közeli San Diego-ban még tervek nem, de elképzelések már vannak arra, hogy a jövőben az új nemzetközi repülőtér már terminálok nélkül épülne meg, az utasokat maglev „buszok” szállítanák egyenesen a repülőgépekhez. Délen Atlanta és Chattanooga városa közé álmódtak mágnesvasutat előbbinek a repülőterére is ilyen vonatokkal lehetne kijutni. Az fentiekén kívül még két másik projekt verseng a kongresszus kegyeért. Az egyik a Pittsburgh-i reptér, a másik a Baltimore-Washington (BWI) légikikötőből vezetne Pittsburgh illetve Washington központi pályaudvarára. A tervek elkészüléséhez szükséges 90 millió dollárt azonban csak az egyiknek fogja megszavazni a kongresszus, így a jövő majd eldönti, melyik valósulhat meg.



Tervezett maglev-vasutak az USA területén (balra), és a nevadai államközi mágnesvasút Las Vegas-i végállomásának egyik látványterve (jobbra)

Mit hoz a jövő?

Mint látható, rengeteg terv, és még több elképzelés áll készen a megvalósításra, de nem kell túl pesszimistán látnunk a jövőt ahhoz, hogy tudjuk; nagy részük nem fog megvalósulni. A maglev-technológia ugyanis nemcsak hogy nagyon drága, és viszonylag gyerekcipőben járó technológiára épül, hanem a korábban nagy előnyének tartott sebességét is fenyegetik a legmodernebb hagyományos motorvonatok. A japán MLX-001-es kocsí hiába tud akár 581 km/h-val is száguldani, ha pályájának építése kilométerenként 30 millió euróba kerül, ami megegyezik egy modern városi földalatti metróvonal építési költségével, és azt rajta kívül más típusú vonat nem is használhatja. Eközben lehet, hogy a TGV legújabb generációja „csupán” 575 km/h-t ért el, sínjeit kevesebb, mint harmadannyiból fektetik kilométerenként, és azt más normál vonat is használhatja, illetve a TGV-k is közlekedhetnek a normál személyvonatok vasútjain, továbbá nem kell nekik teljesen új pályaudvarokat sem építeni. Nagyobb

távolságokra pedig még mindig is szívesebben utazik az ember repülőgéppel, ha pedig egy óceánt kell átszelni, nincs is más megoldás.



A TGV POS V150-es kísérleti jármű 2007. április 3-án megdönti a hagyományos vonatok – szintén a TGV által tartott – sebességrekordját. A különlegesen áramvonalazott, 26 300 LE teljesítményű motorvonat új csúcsa: 574,8 km/h, ez mindössze 6 km/h-val kevesebb, mint az MLX-001-es rekordja, miközben a TGV nem igényel (olyan) drága infrastruktúrát

Igaz, hogy a jelenlegi sebességek mellett a hagyományos vonatok már a kerék-sín közötti tapadás határait feszegetik, és a maglevelekben rejlő lehetőségek még koránt sincsenek kiaknázva, előfordulhat, hogy amilyen lendülettel betörtek a köztudatba, ugyanolyan lendülettel el is felejtik az emberek ezeket a futurisztikus gépeket, akár csak az egykor szintén a jövő hírnökének gondolt gázturbinás autókat. Persze ez nem állítható bizonyosan, lehetséges, hogy ha a jelenlegi generáció nem is, a következők már úgy tekintenek vissza a „kerek” vonatokra, ahogy mi nézzük manapság a régi gőzmozdonyokat; „a nagypapa még emlékszik rá, utazott is vele, egy útra én is kipróbálnám, de a mindennapokra inkább a „megszokott” módszert választanám...”.



Melyik a jövő?



Felhasznált képek és források

<http://www.linmot-usa.com>

<http://www.explainthatstuff.com>

http://www.electro.uni-miskolc.hu/kutatas/lim1_Toht%20F.pdf

<http://en.wikipedia.org/wiki/Railgun>

<http://defensetech.org>

<http://heatherlimyrace.blogspot.hu>

<http://www.imperial.ac.uk>

<http://www.hows.org.uk>

<http://www.skyscrapercity.com>

<http://www.hows.org.uk>

<http://www.technikatlas.de>

<http://forum.index.hu>

<http://www.hochgeschwindigkeitszuege.com>

<http://magnetbahnforum.de>

<http://www.obus.info>

<http://transrapid.de>

<http://www.transrapid.de>

<http://www.mazzaeh.ch>

<http://www.dbestlists.com>

<http://autoraiders.com>

<http://www.whatsonjinan.com>

<http://railfanfromjapan.blogspot.hu>

<http://theprofmie.blogspot.hu>

<http://www.superlife.info>

<http://www.rtri.or.jp>

<http://trains-worldexpresses.com>

<http://ascension-physics.spruz.com>

<http://fr.wikipedia.org>

<http://blogserver.gliebetronics.com>

http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Nagakute,_Aichi

<http://kyberia.sk/ik>

<http://epitos.blog.hu>

<http://hamptonroads.com>

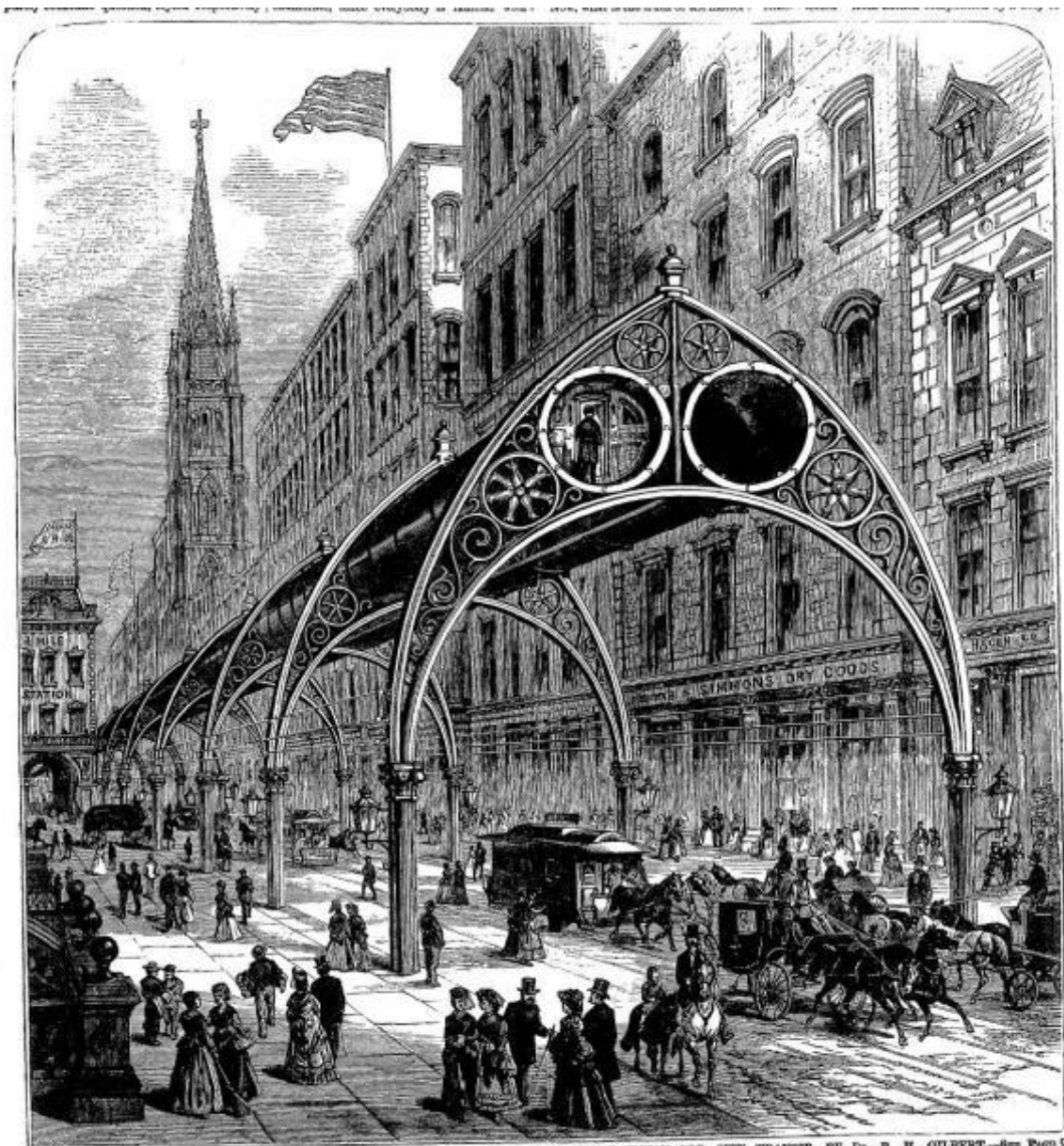
<http://www.aporrea.org>

<http://www.thetransportpolitic.com>

<http://www.maglev.net>

http://en.wikipedia.org/wiki/File:TGV_World_Speed_Record_574_km_per_hour.jpg

VÁKUUMCSÖVES VASUTAK



NEW YORK CITY—IMPROVED PROJECT OF A COVERED ATMOSPHERIC ELEVATED RAILWAY FOR CITY TRANSIT. BY DR. E. H. OILBERT.—See Page 5.

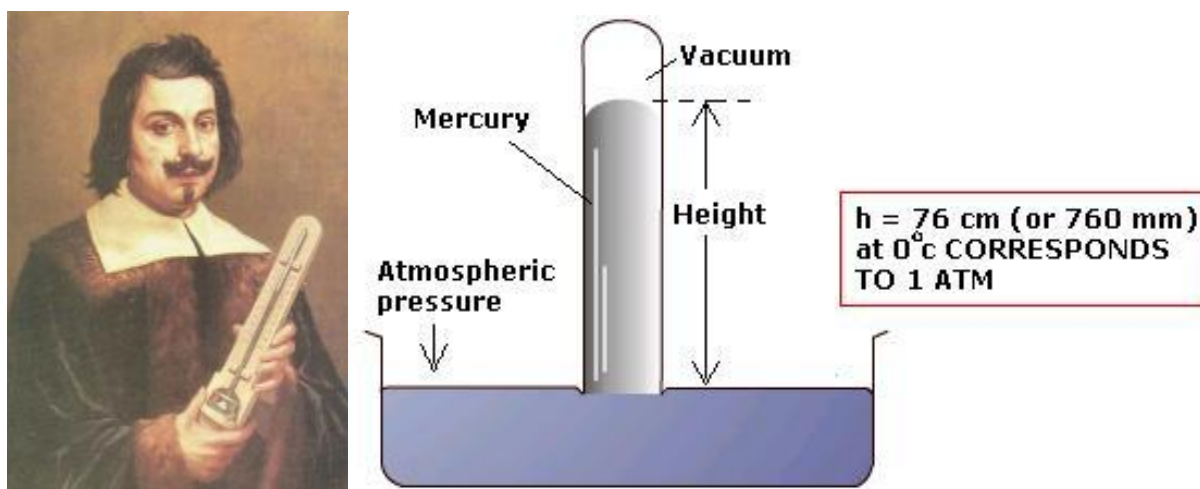
Miről is van szó?

Még az eddig tárgyalt egzotikus vasutaknál is sokkal ritkább, szokatlanabb, és emiatt érdekesebb volt a következőkben tárgyalt meghajtás: a vákuumcsöves, vagy atmoszferikus vonatok. A vontatási nem ismeretlenségének fő oka nem az, hogy annyira ritka volt, hogy szinte senki nem hallott róla (bár tényleg nem üzemelt sok a világon), hanem hogy „fénykorra” magának a vasúti vontatásnak korai szakaszaira – a XIX. század közepére – tehető. Ekkor még sok országban nem is volt vasút, az emberek még nem igazán tudták, mi is húzza majd a vonatokat, és a fényképezőgépek se voltak gyakoriak ezekben az időkben, így a pneumatikus vonatokról fénykép nem sok, inkább rajzok, tervek, és festmények maradtak az utókorra.

A vákuumcsövek kezdetei – a légnyomás felfedezése

A légnyomáskülönbséget – mint erőgépet meghajtani képes közeget – viszonylag későn kezdték felhasználni. Magára a vákuum erejének a nagyságára is csak a XVII. században jöttek rá, hiszen az emberiségnek ennek felfedezéséhez előbb észre kellett vennie, hogy a láthatatlan levegő nem „semmi”, hanem egy tömeggel, térfogattal rendelkező anyag.

Evangelista Torricelli, a hidraulika és a pneumatika úttörője volt az első, aki elgondolkozott azon, hogy mennyi lehet a fölöttünk levő, több kilométernyi levegőoszlop súlya, és vajon miért nem nyom agyon minket. Ő mérte le először a levegő nyomását higanyos barométerrel (760 Hgmm-re, azaz kb. 101,3 kPa-ra jött ki). Azt még Torricelli sem tudta, hogy a fölöttünk örvénylő levegőóceán súlya minden képzeletet felülmúlóan óriási, a becslések szerint mintegy 5500 billió ($5,5 \cdot 10^{15}$!!!) tonnára tehető, ennek nagy része az alsó, 10-12 km-es légrétegekben található. Torricelli arra is rájött, hogy ez a hatalmas nyomás (négyzetméterenként kb. 10 tonna) azért nem okoz károkat a Földön, mert mindenhol (az ember testében is) közel állandó, ha azonban ezt valahol megritkítjuk, a keletkező légnyomáskülönbség képes a nyomott felületnek megfelelő erő kifejtésre. A jelenség tanulmányozása során egyébként választ tudott adni arra az embereket régóta foglalkoztató kérdésre, hogy miért fúj a szél (a különböző hőmérsékletű és sűrűségű légrétegek fel-leszállása okozta nyomáskülönbségek miatt).



Balra: Evangelista Torricelli (1608-1647) barométerével. Jobbra: a higanyos barométer működési elve

A magdeburg-i féltekék története

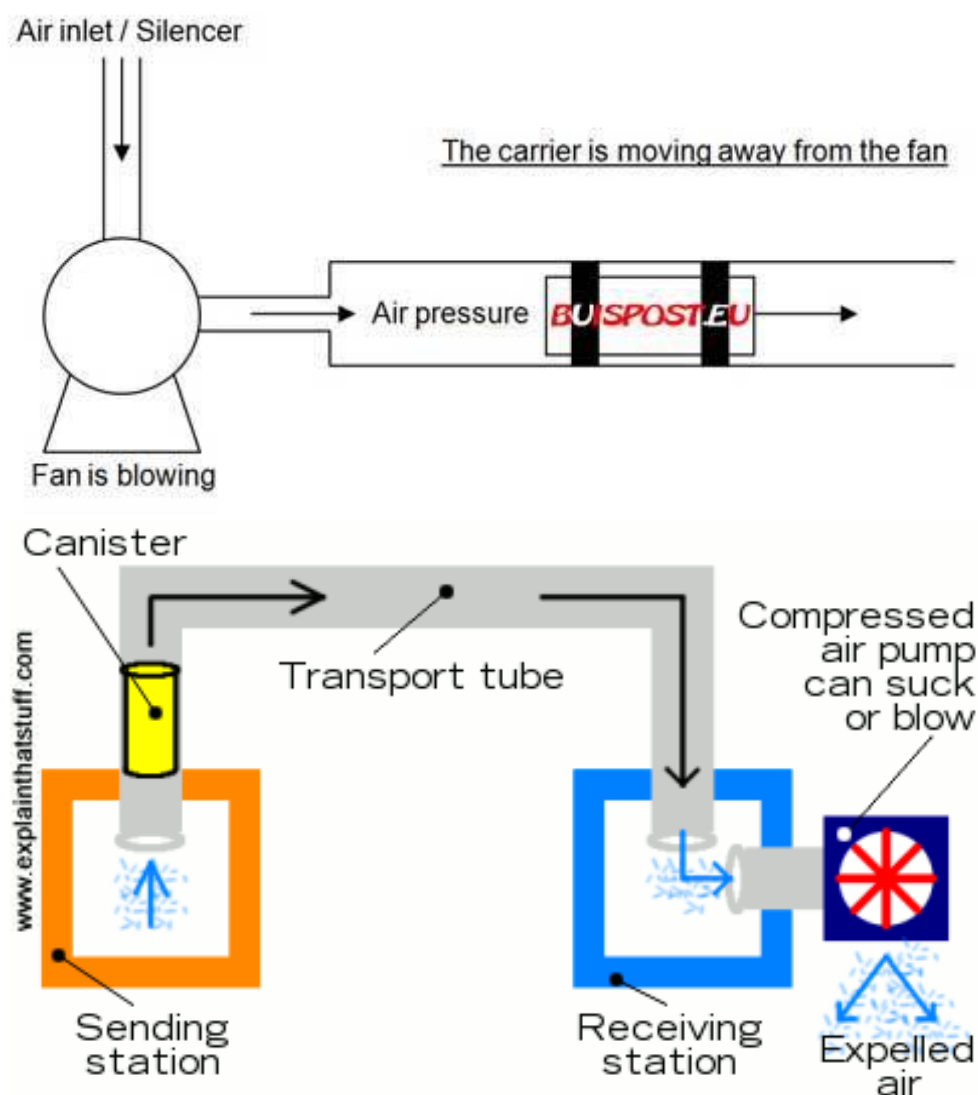
Torricelli elméletét pár évvel később a szászországi (ma Németország) Magdeburg polgármestere, Otto von Guericke továbbgondolta, és rájött, hogyha azt a kicsi higanyoszlopot ilyen magasra nyomta fel a légnyomás, akkor, ha kellően nagy keresztmetszeten alkalmazzuk, minden eddiginél nagyobb erőt lehet kifejteni. 1656-ban Guericke megcsinálta az – azóta csak Magdeburgi féltekéknek nevezett – réz félgömbjeit, amivel látványos módon mutatta be, milyen hatalmas ereje is van a vákuumnak. A mintegy 50 centis belső átmérőjű, zsírral átítatott bőrtömítésekkel, és egy szeleppel rendelkező szerkezet két felét összeillesztette, és a szintén saját gyártású szivattyúval eltávolította belőle a levegőt. A gömb két felére erősített kampók elé irányonként 8 lovat fogott be, majd megsarkantyúzta őket. A kezdetben szkeptikus nézőközönség nem hitt a szemének, amikor a lovak nem bírták még csak megmozdítani sem a féltekéket. A polgármester – bizonyítván, hogy nem varázslatról van szó – ezt követően a szeleppel kiegyenlítette a nyomást, és a csodálkozó tömeg szeme láttára az előbb még széthúzhatatlan félgömbök maguktól kettéváltak. Ezután művét egy konzolra akasztotta, és hatalmas súlyokat aggatott rá, de a gömb így is egyben maradt. Ma már tudjuk, hogy a polgármester nem sokat kockáztatott; ugyan nincsenek adataink arról, milyen tökéletes vákuumot sikerült neki előállítania, de ha csak 50 %-os légritkítást ért is el, a gömb átmérőjének és a légnyomásnak az ismeretében kiszámítható, hogy a féltekéket mintegy 20 000 N erő nyomta össze, aminek széthúzásához nemhogy 16 ló, de még egy mai buldózer is kevés lett volna. Ahhoz pedig, hogy a félgömbök szétváljanak, mintegy 2 tonnát kellett volna rájuk akasztani. Az eredeti Magdeburgi féltekéket egyébként ma múzeum őrzi, és később a hitetlenkedő tömegek meggyőzésére több, különböző méretű példányt is gyártottak belőle. A Magdeburgi féltekék esetének ismeretében már érthető, miért is gondolták, hogy a légnyomáskülönbséggel nagy tömegeket, akár egész vonatokat lehet megmozgatni.



Balra: a Magdeburgi féltekék kísérlete. Jobbra: az eredeti félgömbök a szivattyúval a Deutsches Museum-ban, Münchenben

Hogyan működik a vákuumcső?

A szinten a nyomásdifferencia elvét felhasználó pneucsővek működése nagyon egyszerű: egy (legtöbbször) kör keresztmetszetű csőben a légmentesen záródó kapszulák egyik oldalán szivattyúkkal részleges vákuumot (és/vagy a másik oldalon kompresszorral túlnyomást) hoznak létre, és a nyomáskülönbség a kívánt irányba taszítja a kapszulát, amelynek a belsejében lehet elhelyezni a küldendő árut. A rendszert a múltban a legkülönbözőbb méretekben valósították meg; az egészen kicsi postai küldő-rendszerektől kezdve a fejezetben bemutatott pneumatikus földalattikig szinte minden méretben készült ilyen szerkezet.



A pneumatikus csőposta működési rajza

Viktoriánus gyorsposta – A pneumatikus csomagküldő-rendszerek elterjedése

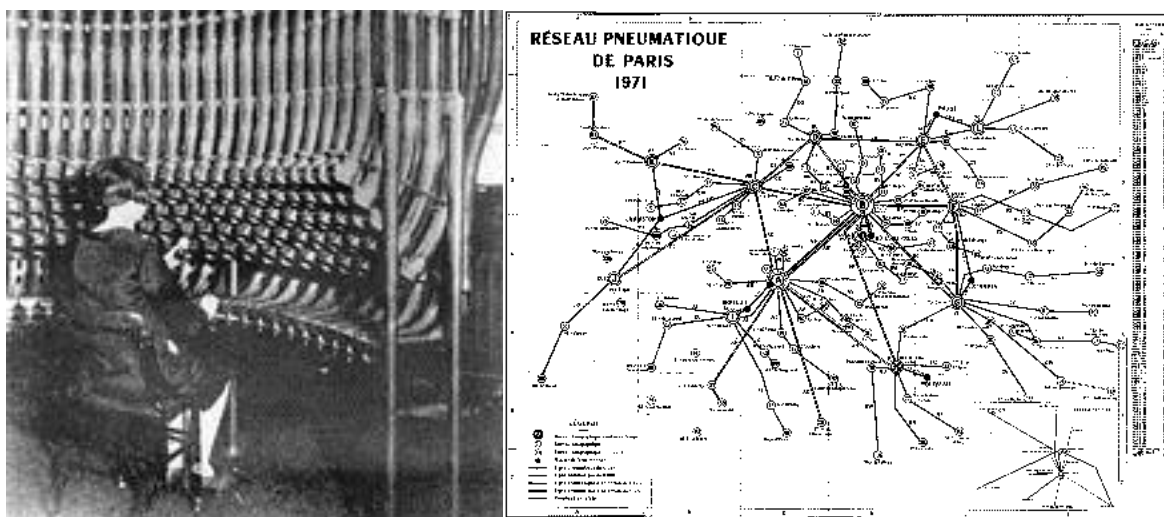
A vákuumcsöves vonatok „elterjedése” egybeesik a működésük alapjait szolgáló pneumatikus csőpostakéval. Az ötletes találmányt szintén a XIX. század 40-es 50-es éveiben kezdték alkalmazni, és a múlt század húszas-harmincas éveig ez is maradt rövid távolságokon a leggyorsabb hírközlő eszköz. Aztán az ekkortájt elterjedő elektronikus készülékekkel – mint a drótnélküli távíró, telefon és rádió – már nem bírta tartani a versenyt, így szinte nyom nélkül tűnt el ebből az iparágból. Azonban gyorsasága, biztonságossága, megbízhatósága, és egyszerűsége miatt a mai napig alkalmazzák rövid – általában épületeken belüli – de fontos, vagy nagyértékű tárgyak szállítására. Bankokban, szupermarketekben, postákon gyakran ilyen szerkezetek hozzák-viszik a pénzzel teli csomagokat, sőt 2011-ben a McDonald's is üzembe helyezte az első, személyzet nélküli, az ételt csőpostán keresztül a vevőhöz juttató autós éttermet.



Balra: Egy pneumatikus csőposta fogadóállomása Jobbra: különböző, csőpostáknál használt kapszulák

A találmány alapjait William Murdoch, angol feltaláló fogalmazta meg, majd ugyanő meg is építette az első – a levegőcsöveket légmentesen elzárni képes – kapszuláját, 1836-ban. A viktoriánus Angliában ezután nem sok idő kellett ahhoz, hogy a világ első vákuumcsöves szállítóeszköze – a londoni csőposta – kiépüljön. A találmány annyira jövőbemutató volt a gőzgéphez és lóvontatáshoz szokott londoniaknak – a csőben a kapszulák 35-40 km/h-val száguldottak, gyorsabban, mint az akkori lovas kocsik, és háztól házig, sőt asztaltól asztalig vitték az üzenetet, gyorsan és biztonságosan – hogy akkoriban a legtöbb jövő Londonját ábrázoló rajzon és festményen helyet kapott a csőposta, mint szállítóeszköz, sőt manapság a retrofuturisztikus (ún. steampunk) filmekben is kiemelt szerep jut neki. Ugyan a hírközlésben a 1930-as 40-es években már nagyobb szerep jutott az elektronikus szerkezeteknek, több példa is van arra, hogy ezeket a rendszereket egészen a közelmúltig használták; a párizsi atmoszférikus csomagküldő rendszert csak 1984-ben nyugdíjazták, amikor is az üzemeltető cég faxgépekre tért át. Prágában azonban egészen 2002-ig üzemben volt a kontinens egyébként legrégebbi, és leghosszabb üzemidejű pneumatikus csőpostája. A több mint 60 kilométeres összhosszúságú rendszert a 2002-es nagy közép-európai árvíz tette tönkre, amikor a Morva

folyó vize megrongálta a csöveket. A berendezés helyreállítása ugyan napirenden volt az árvízkárok felmérésekor, de ez pénzforrás hiányában a mai napig várat magára. Berlinben a hihetetlenül kiterjedt – több mint 400 kilométeres! – csőrendszer 1976-ig szállította a küldeményeket, New York-ban 1953-ban adták fel az üzenetküldés ezen módját, Bécsben 1956-ig húzta a rendszer. A XX. század közepéig rengeteg helyen akadt példa a használatukra; München, Rio de Janeiro, Buenos Aires, Hamburg, Róma, Nápoly, Milánó, Marseille, Melbourne, Boston, Philadelphia, Chicago, St. Louis, hogy csak néhányat említsünk a sokból...



Balra: Egy 30-as évekbeli irodaház csőposta-központja Jobbra: Párizs csőposta hálózata 1971-ben

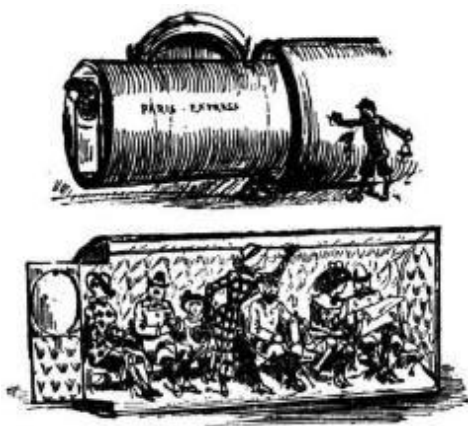
VÁKUUMCSÖVES VASUTAK

A fejezetben a vákuumcsövek vasúti alkalmazásának két módja kerül bemutatásra: az egyik, amikor a vonatot a pneumatikus csőpostákhoz hasonlóan, nyomáskülönbséggel indítják meg, a másik esetben a vákuumot csak mint a légellenállást kiküszöbölő tényezőt használják fel, így a benne haladó vonat kisebb energiával, gyorsabban tud haladni. Ilyenkor a jármű mozgatását más rendszer – leginkább lineáris motor – végzi. Az első módszer további két altípusra oszlik. A vákuumcsöves vonatok egyik fajtájánál a vonat a szabadban halad, és a hozzá kapcsolódó vákuumcsőben hozzák létre a hajtást végző légritkulást. A másik esetben a szerelvény alagútban (vagy csőben) közlekedik, és általában maga a vonat tölti be a dugattyú szerepét (ilyenkor a szerelvény kialakítása is olyan, hogy az alagút falával légmentes zárás jön létre).

Korai pneucsőves vasút tervek, elképzelések

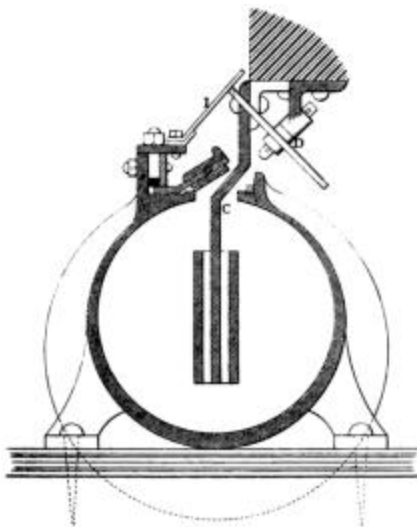
A vákuumcsövek kétségkívül legérdekesebb – és egyben legnagyobb léptékű – felhasználási területe a vasúti közlekedés volt. A története annyira korai időszakra nyúlik vissza, amikor még alig volt ember a Földön, aki látott volna egyáltalán vasutat, gőzmozdonyt vagy szerelvényt meg talán még kevesebben. George Medhurst angol gépészmérnök 1812-ben – mindössze 11 évvel az első gőzmozdony megépítése után – elméletben már lefektette a lég-

nyomás-különbségen alapuló vasúti vontatás alapjait. A feltaláló tervei szerint a két sínszál között a vágánytengelyben elhelyezett levegőcsövekben a légmentes zárást biztosító dugattyúkhöz csatlakozik a mozdony, és a csőben szivattyúkkal hoznának létre vákuumot. A dugattyú mögött megmaradó légköri nyomás így a vákuum irányába mozgásba hozná a mozdonyt és a hozzá kötött vagonokat. A találmány elméletben jól működött – és később ezt a megoldást alkalmazták a valóban megépült vákuumcsöves vasutak egy részén – azonban a kor híján volt a megfelelő légmentes zárást biztosító anyagoknak és technológiának. A dugattyút és a mozdonyt összekötő tartóknak ugyanis ki kellett valahogy jönniük a csőből anélkül, hogy a vákuum megszűnne, sőt ezt haladás közben kellett megoldani, ami akkoriban lehetetlennek bizonyult. Így Medhurst találmánya akkor nem valósult meg, az első sikeres vákuumcsöves vonatra még több mint 30 évet kellett várni.



George Medhurst elképzelése a pneumatikus vonatról

A vasúti alkalmazást Samuel Clegg, valamint Jacob és Joseph Samuda gépészmérnökök szabadalma tette lehetővé, amivel az addig alkalmazottnál sokkal jobb zárást biztosító szelepeket lehetett készíteni. Ennek eredményeképpen 1839-ben meg is épült az első, mindössze 800 méteres kísérleti vákuumcsöves vasút, amelyet 1843-ig használtak tesztelésre. Itt azonban még nem volt szó emberek szállításáról.



A Samuda-fivérek vákuumcsöves rendszerének keresztmetszete

Miért előnyös?

A légnyomásos vasutaknak több jelentős előnye volt az akkori normál vonatokhoz képest. A legnagyobbak ezek közül talán azt tekinthetjük, hogy mivel a vonóerőt nem a kerek-sín tapadás segítségével fejtették ki, hanem a dugattyúra ható nyomással, nem kellett számolni a kerekek megcsúszásával, tehát a hagyományos vasutaknál jóval meredekebb emelkedők is megengedhetők voltak. Mivel az erőgépet a mozdonyok itt nem kellett magával hordania, könnyebb lehetett, emiatt kisebb teherbírású pálya is elegendő volt, és a mozdony szűkebb íveket is be tudott venni. Egy nagy központi gőzgépet pedig elméletileg olcsóbb fenntartani, mint több, kis teljesítményű gőzmozdonyt. Ezáltal az üzemeltetés még olcsóbb, és mivel a mozdonyok nem füstölnek, megoldódik az akkoriban nagy problémát okozó füstkibocsátás is. A vákuumcsöves vasutakon egyszerre csak egy irányba lehet közlekedni, ezért lehetetlen, hogy két vonat összeütközzön, tehát elméletileg nagyobb a biztonság is.

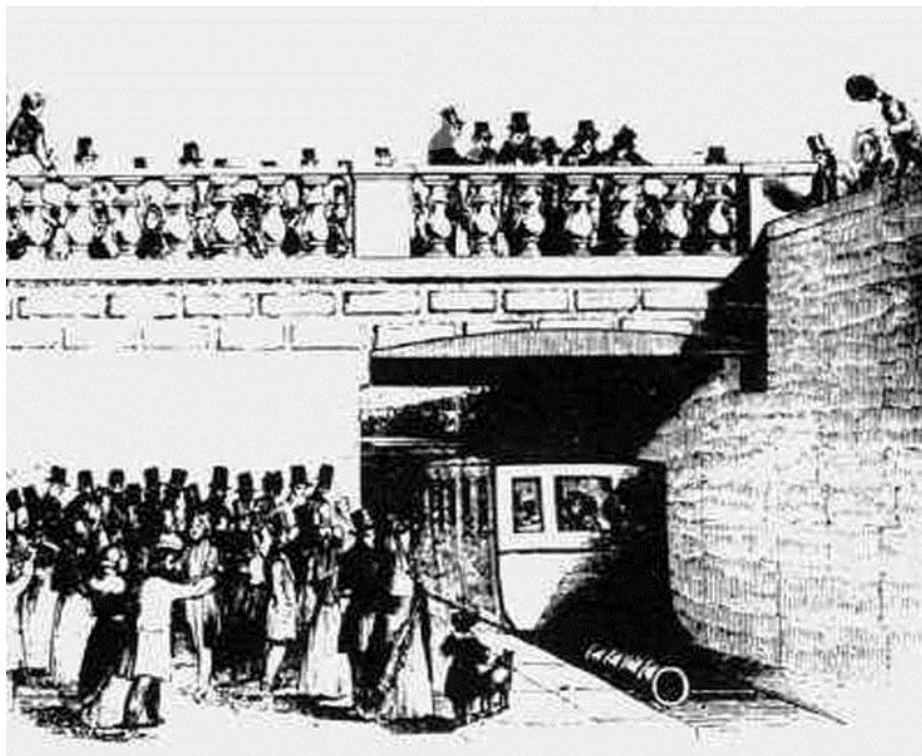
Miért nem előnyös?

Ezek nagy előnyök, de mint látható, sajnos csak elméletben működnek. Az 1840-es 50-es években még nem léteztek olyan anyagok, amelyek megfelelő zárást biztosítottak volna a vákuumcsöveknek, ezért hatalmas veszteségekkel kellett számolni, így a hajtás eredő hatásfoka rosszabb volt még az akkori gőzmozdonyokénál is. A pálya ugyan könnyebb lehet a hagyományos vasutakénál, de a két sín közé fektetett vákuumcső gyártása drága, és körülményes volt, a légmentes zárási technológia pedig magas követelményeket támasztott a tervezőknek. A 40-50 cm átmérőjű csövek miatt nem volt lehetséges az átkelés a keresztutakon, felüljárót kellett építeni, ami akkoriban nem volt bevett gyakorlat; valószínűleg úgy oldották meg ezt a problémát, hogy az átjáróban egy darabon véget ért a cső, és itt a vonat lendületben haladt át. Mint az említve lett, nem lehetséges az sem, hogy egyszerre egy vágányon két irányba lehessen haladni, illetve a vonat nem tudott irányt váltani sem, a váltók, fordítókorongok kivitelezése pedig akkora kihívás volt a kor mérnökei számára, hogy a megvalósult vasutakon nem is építettek ilyeneket. A vonatok tolatását vagy emberi-, vagy állati erővel oldották meg; ez a kisforgalmú vasutakon megoldható volt, de egy nagyforgalmú teher- vagy személypályaudvaron lehetetlen állapotokat teremtett volna. A vákuumcsöves vasutak nem voltak átjárhatók a normál vonatok számára, és atmoszferikus vonat sem közlekedhetett hagyományos síneken, ez pedig a maglevelekhez hasonló elszigeteltséghez vezetett. Összességében elmondható, hogy talán a korszerű anyagokkal elképzelhető egy gazdaságosan üzemelő vákuumcsöves vasút megépítése, de ez igen nagy költségekkel járna, és nem is lenne különösebb előnye a mai modern villanyvasutakkal szemben.

Az első: Dalkey Atmospheric Railway

Az első sikeres interpretációt 1843-ban mutatták be az írországi Dalkey-ban. A városi vasútként funkcionáló Dalkey Atmospheric Railway hivatalos átadása 1844. március 29-én volt, és a vonatok mintegy 10 évig, az 1854. április 12-i leállásig szállították az utasokat. A pálya 2800 méter hosszú volt, végig emelkedett mintegy 9 ezrelékes meredekséggel. A sín-szálak között egy 15 hüvelyk (380 mm) átmérőjű csőben nagyméretű szivattyúkkal hoztak

létre vákuumot Medhurst terveinek megfelelően. A vonatok akár 40 mérföldes, vagyis 64 km/h-s sebességgel is képesek voltak haladni, ami gyorsabb volt a legtöbb akkori járműnél. Hogy a korlátozott teljesítményű szivattyúkat kíméljék, a vonatokat csak hegymenetben hajtotta a nyomáskülönbség, visszafelé a lejtőn hajtás nélkül gurultak. Felfelé is csak a 64 km/h sebesség eléréséig működtek a szivattyúk, ezután lekapcsolták őket, és a vonat lendületből haladt be a vonal felső pontján levő Dalkey végállomásra. Ezzel jelentős mennyiségű tüzelőanyagot spóroltak meg a szivattyúkat működtető gőzgépekből, nagyon olcsóvá téve az üzemeltetést. A vonal azonban egyedi építmény maradt, ennél fogva nem tudott csatlakozni a hagyományos vasutakhoz, nemcsak a hajtás különlegessége, hanem nyomtávbeli eltérések miatt sem. 1854-ben a vonalat az Írországból akkoriban elterjedt 1600 milliméteres nyomtávra építették át, és onnantól kezdve gőzvontatású szerelvények közlekedtek rajta. A városi vasutat később átvette a Dublini Területi Gyorsvasút (DART – Dublin Area Rapid Transit), és a nyomvonalat áthelyezte, nagyjából 200 méterrel északabbra. Az eredeti, vákuumcsöves vasút műtárgyai közül szerencsére több is megtalálható a mai napig. Az Castle Park Road feletti hídon (a képen) a mai napig zajlik a gyalogosforgalom, a vonalat kiszolgáló szivattyútelep épülete pedig építészeti értékké lett nyilvánítva, bár már már normál lakóházként funkcionál.

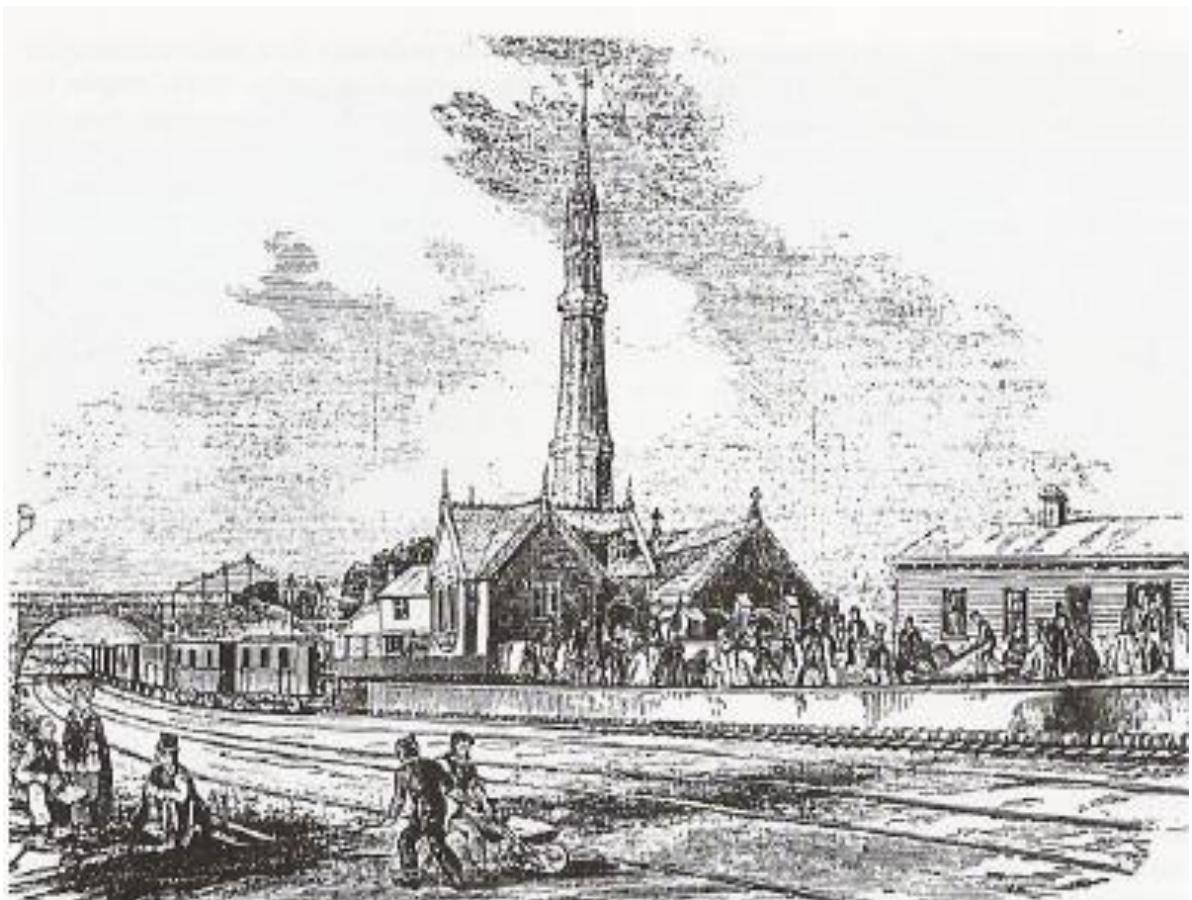


A Dalkey Atmospheric Railway

A London & Croydon vákuumcsöves vasút

Az írországi vasúttal szinte egyidőben készült el Angliában a London & Croydon Railway légnyomásos kísérleti pályája, ám annál jóval hamarabb véget is ért a pályafutása. Magát a London & Croydon vasutat valamivel korábban, 1839-ben nyitották meg, normál gőzvontatású vasútként, ezzel egyébként az egyik legkorábbi vasút volt Angliában. Hossza 12

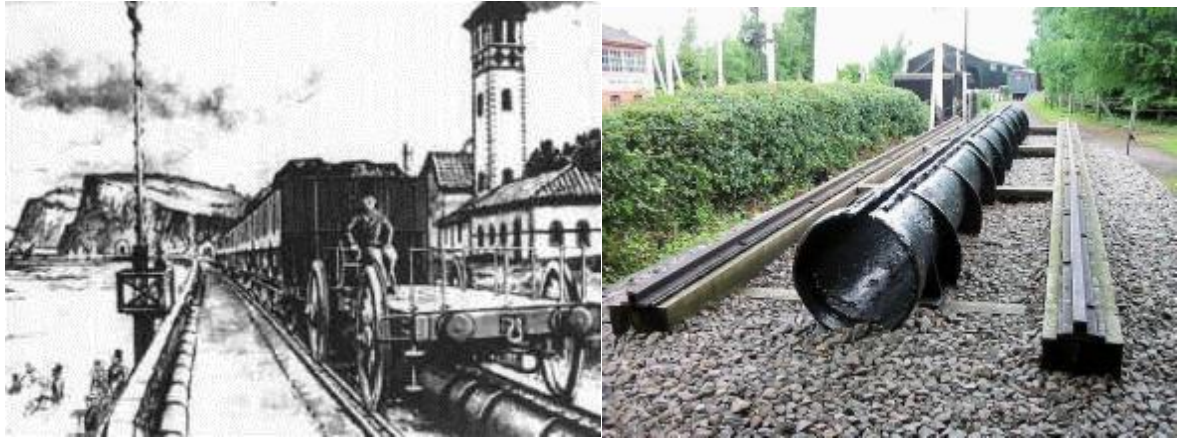
kilométer volt, eredetileg 1435 mm-es normál nyomtávval épült, de az úrszelvényt úgy alakították ki, hogy ha kell, pár hónap alatt át lehessen építeni az országban akkor teret hódító széles, 2140 milliméteres nyomtávra, ami egyébként a valaha alkalmazott legszélesebb nyomtáv a világon (ez azonban nem történt meg). A vákuumcsöves kísérleti pályára 1844-ben kapta meg a jóváhagyást a vasúttársaság, és még abban az évben le is fektették a síneket (a meglévő nyomvonal mellé), és elkezdték a tesztek. A vákuumcső-rendszer az ír vasútvonalnál is alkalmazott sémát követte, a sínek között elhelyezett csővel, amelynek a tetején levő nyílást bőrből készült tömítéssel szigetelték a külső légnyomástól. A szivattyúház gótikus stílusban készült, magas kéménnyel, ami a füstgázok mellett a csőből kiszivattyúzott levegő elvezetésére is szolgált. A szivattyúteleppel rengeteg gond adódott, és a csövek tömítését sem sikerült megfelelően megoldani. 1846-ban a vasutat finanszírozó befektetők úgy döntöttek, nem adnak több pénzt a veszteségesen fenntartható, hasznot nem hozó kísérletre, így a vasutat 1847-ben leállították. A szivattyúházat 1851-ben lebontották, 1928-ban a helyén az akkor villamosításra kerülő vonal egyik állomása épült meg. Érdekesség, hogy a vákuumcsöves vasúton építették meg a világ első vasúti hídját, amely az új szakaszt egy ponton átvezette a „rég” gőzvontatású vasút felett. A drága kísérlet akkori áron 500 ezer fontjába került a befektetőknek, ami hatalmas összeg volt, és közvetve a London & Croydon vasúttársaság csődjéhez, majd a London Brighton Railway-jel való összevonásához vezetett.



A London-Croydon vasút szivattyúháza (szénrajz)

Isambard Kingdom Brunel vákuumcsöves vasútja

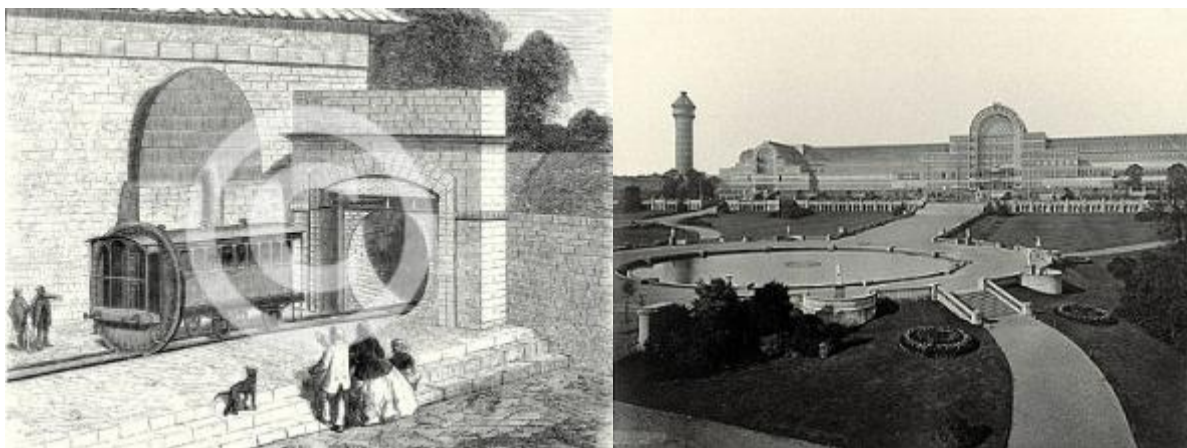
Szintén nem volt hosszú életű az 1846-ban megépült South Devon vasúttársaság atmoszferikus vasútja. A vonalat a világ legjelentősebb vasútépítője, Isambard Kingdom Brunel építtette meg az általa favorizált széles, 2140 milliméteres nyomtávval. Azért döntöttek a vákuumcsövek mellett, mert ezekkel a korabeli gőzmozdonyoknál meredekebb emelkedőket is le lehetett küzdeni, és szűkebb íveket is be lehetett venni, nem is beszélve a nagyobb sebességről. A vasúton a szerelvények elméletileg akár 110 km/h-val is száguldhattak volna, de biztonsági okokból a sebességet 40 mérföld/h-ban azaz 64 km/h-ban maximálták. A vasút mentén 5 km-enként elhelyezett szivattyúházak biztosították a megfelelő vákuumot, a vontatást biztosító vákuumcsövek 15 hüvelyk, azaz 38 cm átmérőjűek voltak, de az emelkedős szakaszokon ezek helyett nagyobb, 22 inch-es, azaz 56 cm-es csöveket alkalmaztak. Nem maradt feljegyzés az utókorra arról, hogy hogyan oldották meg a két különböző átmérőjű csőszakasz közötti átmenetet, de a legvalószínűbb, hogy mozdonyt cseréltek a szakaszhatárokon, ami biztosan lelassította az eljutást a két település között. Azt sem tudjuk, hogy zajlott az átkelés a különleges síneken, hiszen a pálya síkjából kiemelkedő csöveken nem tudott volna egy lovaskocsi áthaladni. Nem ez volt azonban a legnagyobb probléma a vasúttal. A csövek tömítésére a korban a legalkalmasabbnak az olajokkal és zsírokkal kikészített bőr bizonyult, amely sajnos csak korlátozott tömítőképességgel rendelkezett. Tovább rontotta a helyzetet, hogy mivel a vasút a tengerparton haladt, a szél által szállított sósvíz-permet hamar kikezdte a csöveket és tömítéseket, arról nem is beszélve, hogy milyen finom lakomát jelentett a zsíros bőr a patkányok számára. Nem egyszer fordult elő, hogy a vonat nem tudott elindulni, mert a patkányok megették a nyomáskülönbség fenntartásához elengedhetetlen bőrtömítéseket, és a vákuum megszűnt! A másik probléma a szivattyúházakkal adódott. A gőzgépek nagy szénfogyasztással üzemeltek, mivel nagy volt a nyomáscsökkenés az egyes szakaszokon. A légnyomásos vasút építési költsége 1 km-re vetítve 10 penny volt, míg a hagyományos vasutak kevesebb, mint feleannyiból, mindössze 4 pennyből épültek ugyanekkorra távon. A 32 kilométeres, Exeter-t és Newton-t összekötő vákuumcsöves vasutat 1847. szeptember 13-án nyitották meg, 1848 februárjában indultak meg az első, utast is szállító szerelvények, de a már említett tömítési- és a szintén nagy fejtörést okozó szivattyúhibák miatt alig egy évvel később, 1848. szeptember 9-én be is zárták, pedig eredetileg szó volt arról, hogy a Newton városa utáni szakaszt is vákuumcsövesre alakítják át. A sokba kerülő kísérlet kudarca csődközeli helyzetbe hozta a vasúttársaságot, és az csak újabb hitelezők bevonásával tudott úrrá lenni a pénzügyi válságon. A vonalat kiszolgáló szivattyúházak ma is láthatók a pálya mentén, a csőszakasz egy eredeti darabja pedig a Didcot Vasúti Múzeumban van kiállítva.



Balra: Vonat közlekedik a South Devon vákuumcsöves vasúton (háttérben egy szivattyúház). Jobbra: A kiállított síndarab a vákuumcsővel a Didcot Vasúti Múzeumban

A Crystal Palace Atmospheric Railway

Emlékezetes példája volt a pneumatikus vasutaknak az 1864-ben, a londoni Kristálypalotában épült Crystal Palace Atmospheric Railway. A mindössze 550 méter hosszú vonal annyiban különbözött az eddig bemutatottaktól, hogy nem a vágányok között elhelyezett vákuumcső szolgált meghajtóként, hanem maga az egész alagút (a vasút földalatti volt) szolgált a vákuumcsőként, a benne haladó vonat pedig dugattyúként. A mintegy 3 méter átmérőjű, téglából épült alagútpálya végig emelkedett, mintegy 65 ezrelékkal, tehát elég meredek vonalvezetésű volt. A pályán szolgáló egy darab kocsi 35 személyt tudott szállítani, mindkét végén eltolható ajtókat alakítottak ki. A vagon külsejére a falhoz légmentes zárast biztosítón simuló tömítés volt erősítve. A vonat maximális sebessége 40 km/h volt, egy utazás 6 penny-be került, ez nem volt olcsó abban az időben. Az alagútban a nyomáscsökkentést egy nagyteljesítményű gőzgéppel működtetett ventilátorra bízták. A vonalat Thomas Webster Rammell angol mérnök tervezte, aki egyébként az atmoszferikus vasutakat tartotta a jövő szállítóeszközének. Tervei között szerepelt a város behálózó, vákuumalagutas rendszerű földalatti vasút építése, a Waterloo és a Whitehall közötti, a Temze alatt is áthaladó vonalra konkrét tervek is készített. A Kristálypalota vasútja csak néhány hónapig üzemelt, utána leszerelték. Maga a palota még a vasútnál is sokkal szerencsétlenebb véget ért; 1936. november 30-án egy apró tűz keletkezett a női öltözőben, amit a dolgozók nem tudtak eloltani; a nagy szélnek köszönhetően hatalmas lángtengerré változó tűz elemésztette a csodálatos épületet, semmi sem maradt belőle. Az Kristálypalotát – amely kétszer nagyobb volt a budapesti Parlamentnél – nem volt értelme újra megépíteni, helyén ma az üvegkomplexumnak emléket adó múzeum áll.

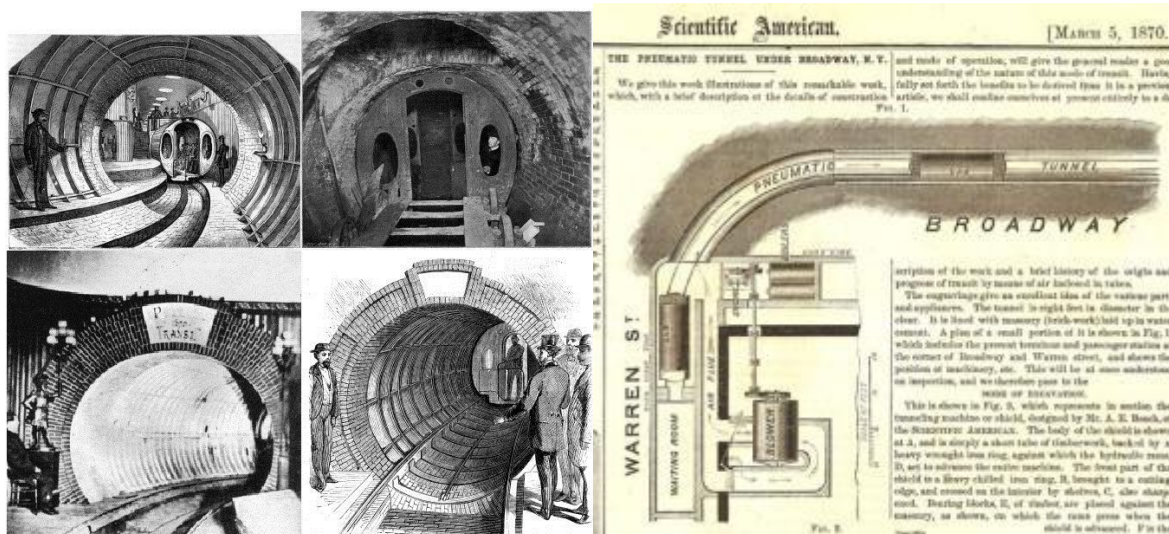


Balra: a Kristálypalota Atmoszferikus Vasút kocsija. Jobbra: A londoni Kristálypalota 1853-ban

Vasút a Broadway alatt – Beach Pneumatic Railway

Amerikában a leghíresebb ilyen vasút a New York-ban megépült Beach Pneumatic Railway volt, ami a nevét nem a tengerpartról, hanem az építetőről, Alfred Ely Beach-ről kapta. Az 1869-ben megépült, mindössze 95 méteres, a londoni Kristálypalotában üzemelő vasúthoz hasonló alagutas építmény építésének költségeit – amik 350 ezer, mai áron mintegy 6-7 millió dollárra rúgtak – teljes egészében Beach állta. Többek között azért került ennyibe a vasút, mert egyrészt nem ásással, hanem az akkoriban nagyon modernnek számító alagútfúró berendezéssel építették az alagutat, másrészt pedig a vonal nem kevésbé híres helyen épült, mint a new york-i Broadway alatt! Az alagút rekordidő, mindössze 58 nap alatt készült el, az első vonat 1870-ben indult el rajta. Érdekesség, hogy Beach eredetileg két vékonyabb, csak csomagküldésre alkalmas cső építésére kapott engedélyt, már zajlott az építkezés, amikor a valódi, 2,4 méter átmérőjű alagút engedélyeztetését megkezdte. Mivel akkoriban nem léteztek megfelelő berendezések a földalatti fúrások iránymeghatározására, jobb híján iránytűvel határozták meg a fúrási irányt. A megfelelő haladási irányról pedig úgy győződtek meg, hogy minden kifúrt méter után egy vékony csövet szúrtak az alagút mennyezetébe, olyan hosszút, ami kiért a felszínre, így az ott tartózkodó munkás a kiálló csövek által meghatározott vonalból meg tudta mondani, hogy jó irányba haladnak-e a fúrással. További érdekesség, hogy az alig 100 méteres – egy háztömb hosszú – alagútnak csak egy „állomása” volt, az alagút másik vége vakon végződött, így az utazás annyiból állt, hogy a 22 személyes vonat elment az alagút végéig, majd visszatért a végállomásra. A kocsi légmentesen elzárta egymástól az alagút két felét, és a pálya végén elhelyezett hatalmas, 48 tonnás Roots-rendszerű fúvó szolgáltatta a vákuumot. Az óriási ventilátor beceneve „Western Tornado” volt. Amikor a vonat odaért a pálya végére, a ventilátor lapátjainak állását megfordították, így a másik irányba tolta a vonatot, amely így visszaért az állomásra. A találmány hatalmas sikernek örvendett. A szerencsés helyen épült vasút – már az hatalmas reklám volt, hogy a Broadway alatt található – üzemelésének első két hetében 11 ezer (!!!) utast szállított (ne feledjük, az egyetlen vagon csak 22 embert tudott elvinni!), az első évben ez a szám 400 ezerre nőtt! Beach a majdani new york-i földalatti vonalat pneumatikus vasutakkal akarta megépíteni, ami abban az időben érthető volt. A villanymozdonyok feltalálása még váratott

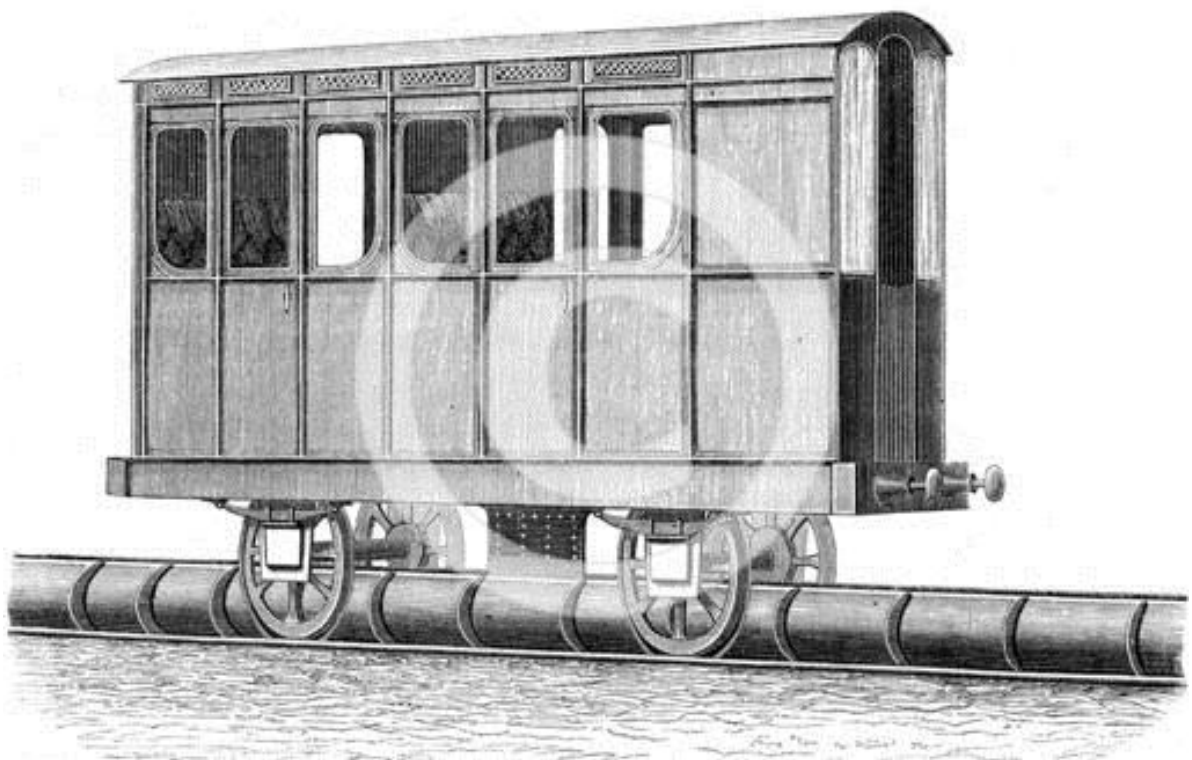
magára, és az akkor már üzemelő, gőzvontatású földalattikban elviselhetetlen állapotok uralkodtak a mozdonyok füstje miatt. A hatalmas sikerre való tekintettel Beach engedélyt kért, hogy a rövid alagutat továbbépíthesse, ezt azonban többször is visszautasították, mivel állítólag egy helyi politikus magasvasút-építési érdekeit sértette. Mire 1873-ban végre sikerült megkapnia, elfogyott a feltaláló pénze, így sajnos be kellett zárnia a vasutat. Nem adta fel, további támogatókat keresett a projekt finanszírozására, de az 1873-as gazdasági világválság (amit egyébként az 1929-es recesszió előtt szintén Nagy Gazdasági Világválságnak neveztek, és majdnem olyan súlyos volt, mint az) végleg betette a kiskaput mind Beach-nek, mind vasútjának. A témában jártasak egy része szerint amennyiben sikerrel járt volna, valószínűleg ma New York-ban a villamos szerelvények helyett még mindig atmoszférikus metrók járnának. De sajnos nem járt sikerrel, az állomást bezárták, az alagutat pedig egy később megépült épület pincéjeként hasznosították, az épület azonban 1898-ban leégett, és a vasút is feledésbe merült egy időre. 1912-ben az éppen arra dolgozó metróépítő alakulatok véletlenül belefúrtak az alagútba, és megtalálták az akkorra már elég romos állapotban levő kocsit, sőt az egyik fúrópajzsot is, amit kiemeltek, és később a Cornell egyetemnek ajándékoztak. Ma a pajzs a Broadway alatt haladó metróvonal egyik állomásán van kiállítva, ahol egy plakett is emléket állít a vasútnak, és Beach-nek.



Balra: A Beach Pneumatic Railway Jobbra: A vasút alaprajza egy korabeli újságban

A Saint-Germain palota vákuumcsöves vasútja

Franciaországban 1847 és 1860 között üzemelt egy kb. 8,5 kilométer hosszú vákuumcsöves vasút Bois de Vésinet és Saint-Germain-en-Laye (a párizsi Saint-Germain palota) között, bár működéséről szinte semmilyen információ nem maradt fenn, az interneten pedig csak néhány képet találni a vasútról.

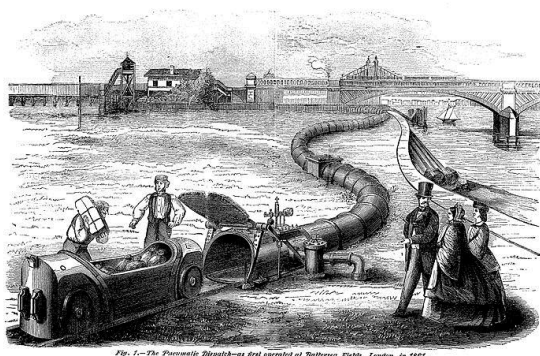


A Saint-Germain palota vákuumcsöves vasútjának egyik kocsija

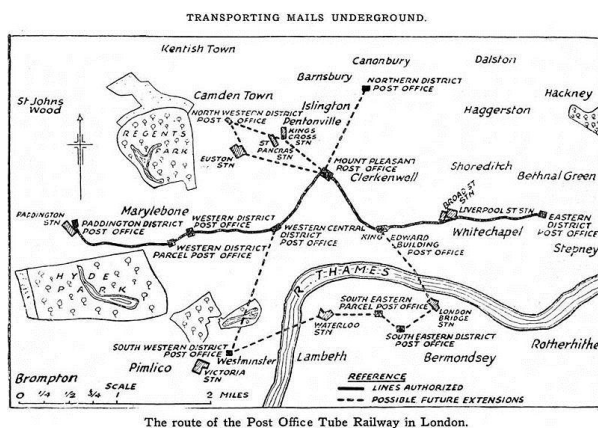
London vákuumcsöves postavasútjai

Annál több ismeretünk van viszont az 1863-ban megépült London Pneumatic Despatch Company érdekes, a vákuumcsöves vonatokat és a pneumatikus csőposta jellegzetességeit ötvöző vasútról. A General Post Office (londoni Posta) 1853-ban rendelt meg egy hatástanulmányt, hogy lovaskocsival, vagy csőpostával lenne-e gazdaságosabb a csomagok szállítása. A tanulmány úgy ítélte meg, hogy túl nagy kezdeti befektetés lenne a csövek lefektetése, és üzembe helyezése, így a csőposta akkor nem valósult meg. 1859-ben két feltaláló Thomas Webster Rammell (akiről már hallottunk a Kristálypalota vasútjánál) és Joshua Latimer Clark épített egy prototípust, amely már felkeltette a posta érdeklődését. A projekt kezdeteként először egy kísérleti pálya épült meg Birmingham-ben. A 30 hüvelyk (76 cm) átmérőjű öntöttvas csöveket eleve úgy öntötték, hogy bennük volt a keskeny, 51 cm-es nyomtávú sín pár. A kapszula alakú „vonatok” gumitömítéssel biztosították a légmentes zárást, és elméletileg akár egy ember szállítására is alkalmasak voltak. A kísérleti pálya hossza kb. 450 méter volt egy 91 méteres ívvel, és egy meredek, 4,5 százalékos emelkedővel. A vonatok maximális sebessége a csőben 65 km/h volt. A végső vonal aztán a londoni Euston pályaudvaron lévő és a North West kerület postája között épült meg, szintén 51 centis nyomtávval. Az első vonat 1863. február 20-án indult el, innentől kezdve naponta 13-szor ingáztak oda-vissza a szerelvények a csőben. A szükséges vákuumot egy 30 lóerős gőzgéppel hajtott, 6 méter átmérőjű ventilátor szolgáltatta. A vagonok egyszerre 35 csomag postát tudtak magukkal vinni, a távolságot 1 perc alatt tették meg, ezzel nagyon felgyorsították a pályaudvar,

és a postahivatal közötti árucserét. A vonalat később bővíteni szerették volna, más postákkal is megteremtve az összeköttetést, de ez végül nem valósult meg. Megvalósult viszont egy valamivel szélesebb, 1131 milliméteres (3 láb 8,5 inch) nyomtávú csőposta, szintén a társaság kezelésében, Camden Town és London Euston vasútállomások között. Az 1865. október 10-én tartott megnyitó keretében a társaság elnöke, Richard Temple-Grenville, és Buckingham hercege is megtette az utat a kapszulákban, ezzel bizonyítva milyen biztonságos az újszerű vasút! Hogy milyen lehetett ezekben az emberi testnél alig szélesebb koporsókban 60 km/h-val egy vaksötét csőben utazni, azt mindenkinek a fantáziájára bízunk. Az 1866-os pénzügyi válság hátráltatta az építkezéseket, aztán 1869-ben az új postapalota átadásával egyben az odavezető csőposta is megépült, itt a csőben haladó szerelvények akár a 100 km/h-s sebességet is elérték! A fenntartása azonban nagyon drágának bizonyult, így a Posta néhány éves üzem után, 1874-ben felhagyott a csővasút alkalmazásával. Ez végleg megpecsételte a cég sorsát; 1875-ben megszűnt, ezzel egyidőben a két szerelvény is elveszett. 1930-ban kerültek elő elég rossz állapotban, de felújították őket, és ma az egyik a Vasúti Múzeumban, a másik a London Museum-ban van kiállítva. Közeli rokonságban áll a fenti vasúttal a London Post Office Railway (londoni postavasút), amely hasonlóan keskenynyomtávolságú, vezető nélküli szerelvényekkel, a föld alatt üzemelt, de itt atmoszférikus helyett elektromos meghajtást alkalmaztak. A 11 kilométeres vonalhálózatot 1927-ben építették meg, és a közelmúltban, 2003-ban zárták be.



A Londoni Posta csővasútja (balra fent) az egyik felújított kocsi (jobbra fent), és a 2003-ban bezárt London Post Office Railway egyik vonata (lent)

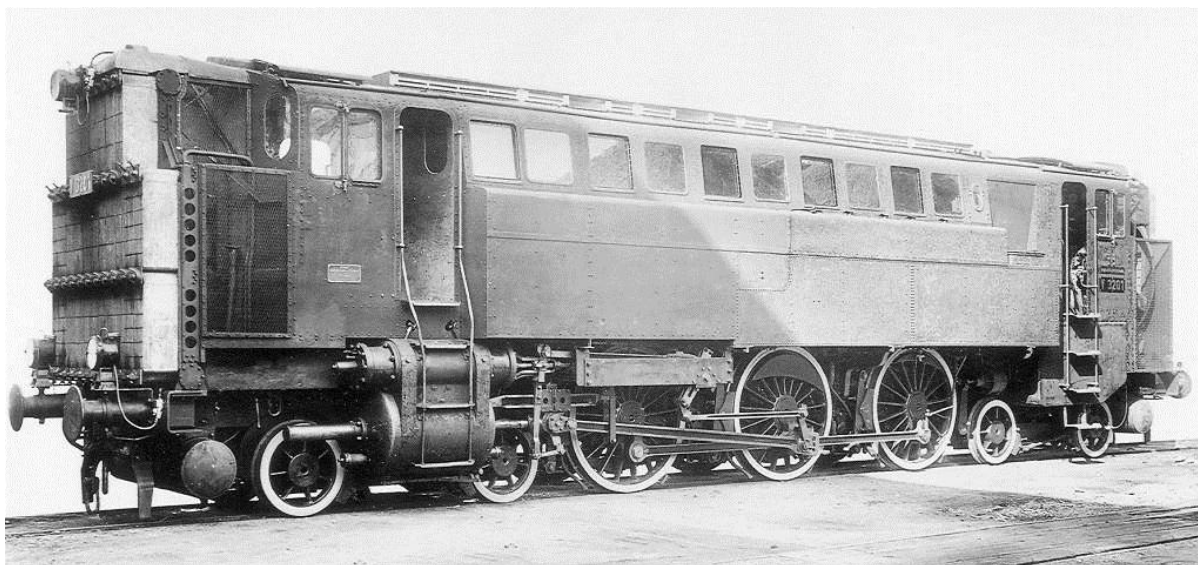


A klasszikus vákuumcsöves vasutak alkonya

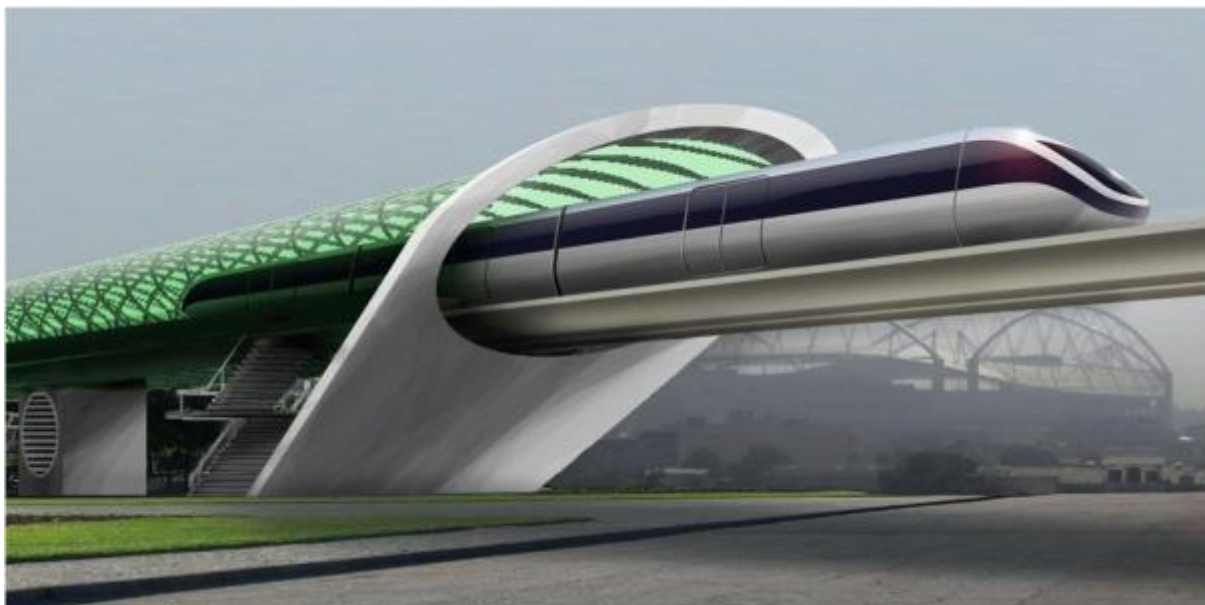
A többé-kevésbé sikeres vákuumcsöves vasutak végét az 1800-as évek végén bekövetkező második ipari forradalom jelentette. 1876-ban elkészült az első villanymotor, 1885-ben pedig útjára indult az első benzinmotoros autó, a XX. század elejére pedig mindkét hajtásnak létezett már képviselője a vasúti vontatásban is. Ezek gyors fejlődésüknek köszönhetően hamar kiszorították azokat az atmoszferikus vasutakat is, amelyekkel esetleg nem végzett egy gazdasági recesszió vagy egyéb működésbeli problémák. Mivel ezek a vasutak sosem terjedtek el igazán, mára szinte teljesen a feledés homályába merültek.



Két ok, amiért a vákuumcsöves vonatok nem terjedhettek el; fent: A világ első villanymozdonya 1879-ből. Siemens építette, teljesítménye 3 LE, végsebessége 13 km/h volt. Lent: Az első dízelmozdony, a Sulzer-testvérek gyártmánya 1909-ből. A mozdony a porosz vasutaknak készült, hatalmas, négyhengeres V-motorjának teljesítménye 1000 LE volt, és a gőzmozdonyokhoz hasonló hengerekkel működött, melyeket a dízelmotor által szolgáltatott sűrített levegő hajtott. A csatlórudas gép maximum 70 km/h-val tudott haladni.



A hajtás mai képviselői



A 2014-es futball VB-re elkészülő új porto alegre-i AeroMovel

Napjainkban mindössze kettő, inkább turisztátványosságnak, mintsem igazi közlekedési eszköznek tekinthető példa létezik a vákuumcsöves vonatokra, ezek közül a legkomo-lyabb a braziliai Porto Alegre-ben üzemelő AeroMovel. A 944 méteres pálya 2010-ben készült el. A beton pilléreken nyugvó magasvasút a repülőtér termináljától vezet a reptér vasútállomásáig. Megépülésére a 2014-es futball világbajnokság költségvetéséből nyílt lehetőség. A 300 személyes, könnyű építésű vagonok egy négyzet keresztmetszetű, légmentesen záródó csőhöz csatlakoznak. A vagonokat a velük fix kapcsolatban levő, a cső belső felületéhez tömítéssel illeszkedő felületek segítségével hozzák mozgásba, a csövekben ventilátorokkal tartanak megfelelően nagy áramlási sebességet. A haladási sebesség megváltoztatása úgy történik, hogy a dugattyúk áramló levegővel érintkező (hasznos) felületét az autók motorjában is található pillangószelepekhez hasonlóan változtatják; amikor áll a vonat a dugattyúk párhuzamosan állnak a légáramlattal, így az nem kap beléjük. Ha gyorsulni szeretnének a vonattal, a dugattyúkat egyre jobban elfordítják, egy egyre növekszik a hasznos felületük. Amikor maximális sebességgel halad a vonat, a dugattyúk merőlegesen állnak a légáramlatra, és teljesen kitöltik a csövek belső keresztmetszetét. A villanymotorokhoz szükséges energiát környezetbarát erőművekből nyerik, így a vasút nem terheli a környezetet. Ugyanez a rendszer üzemel az indonéziai Jakartában, de ott egy vidámpark látványosságaként, egy 6 állomásos, 3 km-es vasutat építettek.

VÁKUUMALAGUTAS VONATOK (VACTRAIN)

Ha minden jól megy, ez a jövőben változni fog. Több grandiózus terv is létezik a vákuumcsövek jövőbeli alkalmazására, ezek közül nem egy talán a világ leghatalmasabb vállalkozása lenne, ha megvalósulna.

A Vactrain működése

A Vactrain (Vacuum tube train – vákuumcsöves vonat szóösszetételből) projektet igazság szerint a maglev vonatoknál is be lehetett volna mutatni, hiszen a hajtóerőt lineáris motorból nyeri, de a terv különlegessége a vákuumcsövekben rejlik. A maglev-ek nem küzdenek a kerék és sín közötti súrlódással, de a másik nagy probléma – a légellenállás – még őket is sújtja. A légellenállás a sebességgel négyzetes arányban növekszik, így egy 400 km/h-val száguldó vonatnak 4-szer akkora erőt kell leküzdenie, mint egy 200-zal, és 16-szor akkorát, mint egy 100-zal haladónak. A Vactrain működésének kuriózuma, hogy olyan csövekben közlekednek a vonatok, amelyből nagyteljesítményű szivattyúkkal részben, vagy teljesen eltávolítják a levegőt, így szinte semekkora légellenállással nem kell számolni. Mivel így szinte csak a gyorsításhoz kell energia, korábban elképzelhetetlen sebességek is elérhetők. Elvileg semmi nem zárja ki a hangsebesség 5-6-szorosát, azaz a hihetetlen 7-8 000 km/h (!!!) sebességet. A vonatok légüres térben haladnak, ezért a hangrobbanástól sem kell tartani.



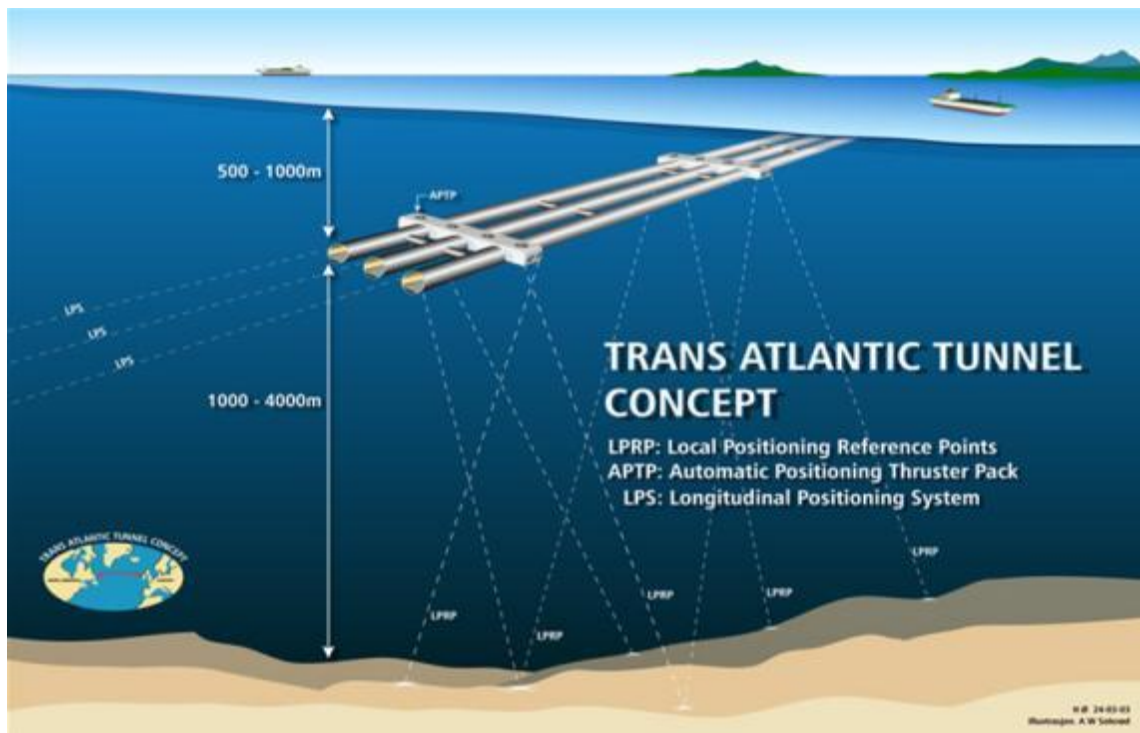
Egy vákuumalagutas vonat képzeletbeli metszete

A Transzatlanti vasúti alagút

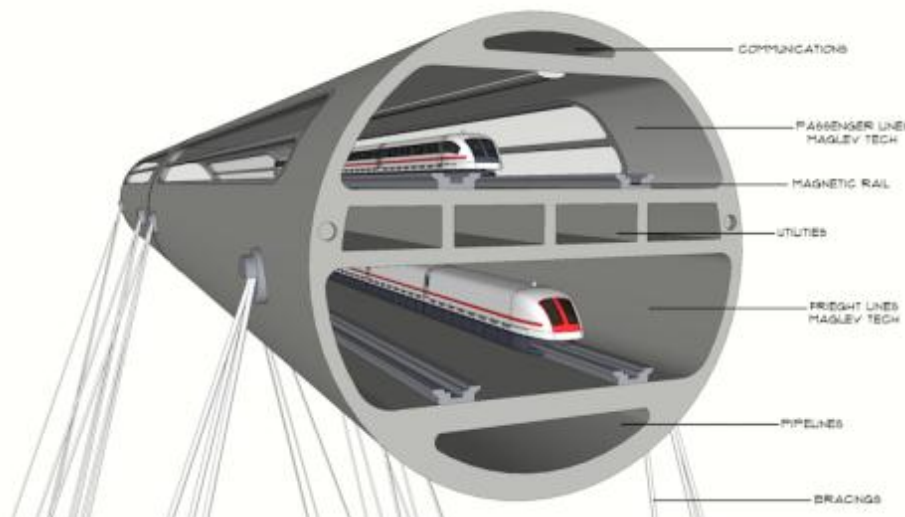
Erre apellálnak a tervezők is, akik a vasúttörténet, de lehet, hogy talán a világ legnagyobb technikai kihívását akarják legyőzni: vonattal Európa és Észak-Amerika között, a tenger alatt! A vonal egy tengerszint alatt kb. 500 méterrel húzódó alagút lenne, amit vagy acél-

láncok kötnének a tengerfenékhez, vagy más elképzelések szerint meghatározott GPS-referenciapontokhoz igazítanának a néhány kilométerenként beépített vízszugár-hajtóművek. Az alagútban kétvágányú mágnespályát fektetnének le, és – hogy ki ne felejtjük – teljes vákuum uralkodna. Ez lehetővé tenné az utasok fent említett sebességgel történő szállítását. Ennek kivitelezése a mai technikai fejlettséggel elképzelhetetlen. A tenger alatt kb. 5000 kilométer hosszan húzódó alagútból akár csak a levegőt kiszivattyúzni is, a mai legnagyobb teljesítményű szivattyúnál tízszer nagyobbval is évekig tartana, hogy csak egyet említsünk a rengeteg kihívás közül. Egy ekkora alagútban légköri nyomású levegőből – amit a munkálatok során ugye biztosítani kell – 600 milliárd m^3 -nyi lenne (ez egy 8,5 kilométer élhosszúságú kocka térfogata), aminek tömege 823 millió tonna! Úgy tervezik, a vonatok New York egy, az utcák szintje alatt 100 méterrel lévő – a vonal többi részétől hermetikusan záró ajtókkal elzárt – állomásról indulnának, és Londonban egy ugyanilyen állomásra érkeznének, majd onnan még a La Manche alatt átszágulva, végül 200 kilométert a felszínen haladva Párizsban érne véget útjuk. Még egy probléma van: a gyorsulás. Akik figyelmesen olvasták a fentebb leírt sorokat, kiszámolhatták, hogy ezek a vonatok kb. 8000 km/h sebességgel közlekednének. Még a mai leggyorsabb vonatok, a TGV POS szerelvények utazósebességénél is kb. 25-ször gyorsabban. Erre a sebességre sokáig tart felgyorsulni, de a gyorsulás túl nagy sem lehet, mert az ember szervezete nem tűri sokáig a nagymértékű gyorsulást. Ezt a jelenséget úgy akarják kiküszöbölni, hogy a vonat – ugyan jelentősen megnövekszik a menetidő – kb. 1-1,4 g-vel gyorsulna, és az ülések úgy fordulnának be, hogy ebből az utasok a lehető legkevesebbet érezzék. Ezenfelül a pálya első szakasza meredeken lejtene, így a gravitáció is gyorsítaná a vonatokat, ezzel energiát megtakarítva, a végállomás előtt pedig egy emelkedőnek köszönhetően nem kellenének akkora teljesítményű fékek sem. A jövőbeni *Trans Atlantic Express* útja tehát a következőképpen nézne ki: New York-ból indulva egy 18 perces gyorsítás következne, ami alatt a vonat 1200 kilométert tenne meg, majd London előtt egy ugyanilyen hosszú lassítás. London és Párizs között a vonat már nem mehetne akkora sebességgel, mert ott ugyebár nincs légüres tér, és a bekövetkező hangrobbanás komoly probléma lenne. New York állomáson gigantikus szivattyúk lennének elhelyezve, melyek az utolsó utas beszállása, és a kapuzárás után néhány perc alatt vákuumoznák az állomás épületét. A vonat menetideje ekkora sebességgel 1 óra alatt maradna. Egy szerelvény 300 méter hosszú lenne, és 1000 utast tudna elvinni. Nyilvánvaló, hogy egy ekkora projekt finoman szólva is elképzelhetetlen költségekkel járna. Az építkezés – a számítások szerint – mai áron számolva kb. 1000 milliárd dollárba kerülne! A jelenlegi technológia használata mellett nem is valószínű, hogy valaha megtérülne, de ennek ellenére jelentős forgalmat bonyolíthatna le. Több nagy cég jelezte, hogy a támogatásokba szállnának, ha elkezdenék. Ez a terv azonban még gyermekcipőben sem jár, inkább egy vad ötletnek lehetne nevezni, hiszen a kivitelezéséhez a technikának még évtizedeket fejlődnie kellene, ha nem évszázadokat. Az idő további problémát jelent. Az alagutakat hajókról kellene leereszteni, ami elképzelhető, micsoda logisztikai kihívás. Ha ezzel elkészültek, csak akkor jönne a java; vágányok lefektetése, elektromos, és biztonsági rendszerek elhelyezése, arról nem is beszélve, hogy ki kellene fejleszteni egy új, minden eddiginél fejlettebb vonatot, amely tartósan bírná a hiperszonikus sebességet. A transzatlanti alagút

kétségtelenül érdekes terv, de nem valószínű, hogy megvalósul. Ennél jóval kisebb léptékben, de előfordulhat, hogy a jövőben megépül néhány vákuumcsöves maglev vasút, ezekre már konkrét tervek is léteznek.



Fent: A transzatlanti alagút fantáziarajza Lent: Az alagút keresztmetszete



Egy másik terv

A Délkelet Jiaotong Egyetem – amelyről már a maglevекnél is hallhattunk – egy városközi vactrain-vasút tervezésébe fogott 2010-ben. Itt a csövekben szivattyúkkal akkora nyomást hoznának létre, ami kb. 21 000 méteres magasságban uralkodik – régen ebben a magasságban repültek a szuperszonikus Concorde repülőgépek – így a vonatok ugyanakkora energia-befektetéssel mintegy 1000 km/h-s sebességgel száguldhatnának. Ugyan még sok

akadályt kell leküzdenie a tervezőknek, mindenesetre azt ígérik, hogy 10 éven belül használható tervekkel fognak szolgálni.



A Délkelet Jiaotong Egyetem vákuumcsöves maglevjéről készült művészi rajz

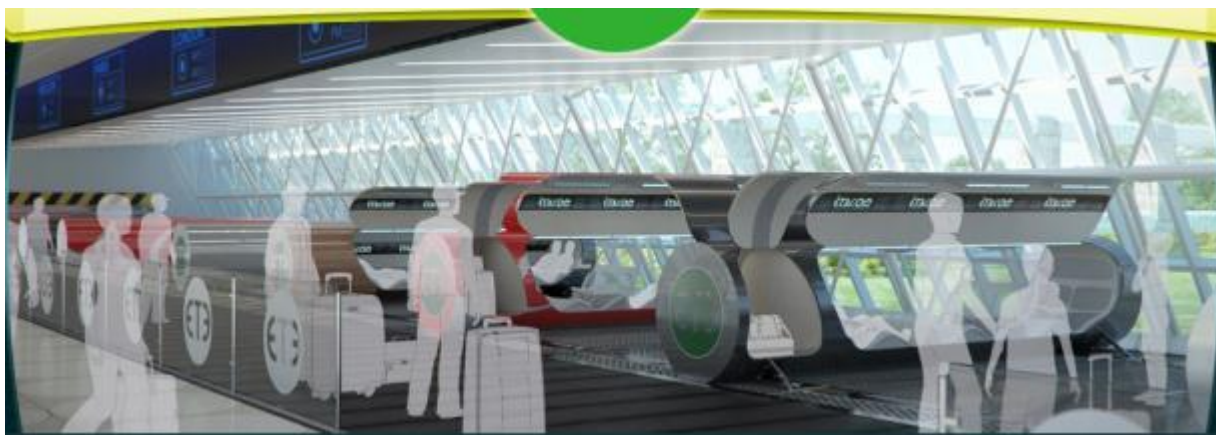
Föld alatt, víz alatt – a Plantrain-projekt

Nem kevésbé bátor terv az amerikai Plantrain-nek nevezett projekt – bár merészségét tekintve lehet, hogy pontosabb víziónak, vagy álomnak nevezni. A transzatlanti alagúthoz hasonlóan ez is egy felszín alatt futó vasút lenne, de ez nem a tenger, hanem a szárazföld felszíne alatt épülne meg. A vonal két végállomása New York és Los Angeles lenne, tehát egy közel 5000 km hosszú, teljes egészében a föld alatt futó projektről beszélünk. Összehasonlításképpen jelenleg a leghosszabb megépült alagút a Delaware Akvadukt (vízi alagút), lélegzetelállító – de Plantrain tervezett alagútjához képest egyenesen rövidnek tűnő – 137 kilométeres hosszal. A leghosszabb vasúti alagút az 53 kilométeres Seikan alagút Japánban, de várhatóan 2017-re készül el a svájci Gotthard bázisalagút, ami valamivel több, mint 57 km-es lesz. Hogy a Plantrain alagút készítőire mekkora feladat vár, azt jól mutatja, hogy a Gotthard alagutat a létező legmodernebb fúróberendezésekkel, és robbanószerekkel is várhatóan mintegy 20 év alatt építik meg, és tervezett költsége 10 milliárd euró lesz, miközben hossza alig több mint 1%-a Plantrain-nek. Ha ehhez hozzávesszük, hogy a transzatlanti alagúthoz hasonlóan ez a terv is vákuumozott járatokról, és az elképzelések szerint 5000 km/h-s utazósebességű mágnesvonatokról szól, egyáltalán nem túlzó az ezermilliárd dolláros becsült költség (hogy világos legyen, mekkora összegről beszélünk; ez az USA 2011-es GDP-jének 7%-a, Magyarországénak pedig több mint a 10-szerese!!!). Nem lepődnénk meg, hogyha valami, akkor ez miatt nem valósul meg, és akkor még nem is beszéltünk arról, hogy a terv olyan berendezésekkel kalkulál, amik ma gyakorlatilag nem is léteznek (lézeres alagútfúró, izzó wolframból készült fúrószondák(!!!), amelyek a legkeményebb kőzetben is áthatolnak), ami inkább emlékeztet egy vad sci-fi-re, mint egy komoly vasútépítési tervre.

A jövő autói – az ETT

A megvalósuláshoz talán egy jöttányival közelebb áll az ETT (Evacuated Tube Transport – Légüres Csőtranszport) terv. Működési elve megegyezik az eddig bemutatott tervekkel, de egyrészt nem a lehetetlenség határát súroló, több ezer kilométeres transzkon-

tinentalis alagutakról van szó, hanem nagyobb városokat összekötő csövekről, amelyek nem ezer, hanem mindössze néhány ember szállítására képesek vonatonként. Az elgondolás így egyszerre válthatná ki az autókat, a vonatokat, és a repülőgépeket is. A 6-12 személyes, autóméretű kapszulák lineáris motorral hajtottak, a tervek szerint rövid távokon 500-600 km/h-val, hosszabb utakon hangsebesség körüli utazósebességgel száguldanának a szintén légritkított, 1,5-2 méter átmérőjű csövekben, bár a legvadabb elképzelések itt sem zárják ki a hatalmas, 6-7000 km/h-s sebességeket. A gyorsításhoz ugyan nagy energia szükséges, de mivel nincs légellenállás, a kapszulák gyakorlatilag további energia-befektetés nélkül megtartanák sebességüket, fékezéskor pedig lineáris generátorokon keresztül visszatermelnék az induláskor felvett energia nagy részét, amelyet egy másik, éppen induló egység felhasználhat. Egy hasonló terv szerint – amely inkább az autók jövőjét jelenthetné – ezek az önműködő kapszulák automata autópályákon is közlekedhetnének, vezérlésüket fejlett számítógépek végeznék, így vezetni nem tudó emberek is utazhatnak velük, és a nagyon könnyű építésű egységeknek köszönhetően (üres tömegük 180 kg lenne) környezetbarát módja lehetne az utazásnak. Sajnos ezek még annyira elrugaszkodott tervek a valóságtól, hogy nem valószínű, hogy belátható időn belül lenne belőlük valami, és még az is előfordulhat, hogy más irányt vesz a közlekedésfejlesztés, tehát egyáltalán nem valósulnak meg. Mindenesetre tényleg érdekes tervek ezek.



Evacuated Tube Transport. Vajon a jövőben így közlekedünk?

VÁKUUMCSÖVEK AZ ÚRBE – KÖTÖTTPÁLYÁS MAGLEV ŰRJÁRMŰVEK

A StarTram

Ha a fent bemutatott tervek merésznek, vízióknak vagy lehetetlennek lettek nevezve, akkor a most ismertetett projekthez illő jelző kitalálását az olvasóra bízom... az írásban bemutatott talán legbátrabb, leggrandiózusabb, leghihetlenebb elképzelés következik: a StarTram-tervezet. Bár megvalósítását és célját tekintve kevésbé a vonatok – inkább a repülőgépek és az űrhajók – jövőjét jelenthetik, már maga az elgondolás is annyira érdekes, hogy

megéri bemutatni, az alkalmazott eljárások (maglev, vákuumcső) miatt pedig szegről-végről a témába vágunk.



A StarTram kötőtpályás űrhajó

A StarTram ugyanis nem más, mint a már maglevекnél említett lineáris villanymotoros rakétakilövő egy változata. A jelenlegi tervek szerint 3 ilyen típusú kilövővel megoldódhatnak a jelenlegi űrutazás legnagyobb problémái; a hatalmas költségek, és a rakéták újrafelhasználhatatlansága. Az elsőgenerációs (ember nélküli) változatot a 2020-as, a második generációs (emberes) kilövőállást pedig a 2030-as évekre ígérik. Az első változat úgy nézne ki, hogy egy magas, (3 000 m feletti) az Egyenlítő környékén található hegyre építenének egy mintegy 130 km hosszú vákuumcsövet, amelyből fejlett szivattyúkkal eltávolítanák a levegőt. A 3 méter átmérőjű cső szája 6000 méteres tengerszint feletti magasságba nyúlna fel. Az alagútban nagy gyorsulású lineáris motorokat helyeznének el, ezek a rakományt kb. 30 g-s gyorsulással a cső végéig nem kevesebb, mint 9 km/s (kb. 33 000 km/h) sebességre tudnák felgyorsítani. Ez még nem elég a Föld gravitációjának legyőzésére, ezért kisméretű rakétákkal is felszerelnék a szállítóeszközt, amivel tovább gyorsíthatná saját magát, illetve a pályára állítási műveleteket is el lehet végezni vele. Ha a Föld forgását kihasználva kelet felé lövik ki a rakományt, a számítások szerint a bolygó kerületi sebességéből adódó plusz sebesség elegendő lesz az alsóbb, sűrűbb lég rétegek fékezőhatásának kiegyenlítésére. A az előzetes becs-

lések szerint a StarTram-mel egy kilogramm teher pályára állítása 45 dollárba kerülne, ha naponta 10-szer használnák, míg ma ugyanekkora tömeg űrbe küldése nagyságrendekkel több, mintegy 25 000 dollár költséggel jár. Ez pedig nagy előrelépés lenne, még ha a projekt tervezett bekerülési költségét százmilliárd dolláros nagyságrendűre is becsülik.



A StarTram második generációjának látványtervei. Megvalósul? Megéri? Megérjük?

Ennél még grandiózusabb lenne az embereket is szállítani képes második generációs StarTram, de a hatalmas mérnöki kihívások miatt megvalósulása legalábbis kétséges. Mivel emberek szállítása az elsődleges cél, jóval kisebb, mintegy 3-4 g-s gyorsulást lehet csak megengedni, amivel együtt jár, hogy sokkal hosszabb csövek kellenek ugyanakkora sebesség eléréséhez. A számítások szerint a második generációs űreszköz alagútja a világ legnagyobb építményei közé tartozhatna; a mintegy 1300-1500 km (!!!) hosszú, 3 méter átmérőjű cső vége 22 kilométeres tengerszint feletti magasságban lenne, kétszer magasabban, mint ahol a modern utasszállító repülőgépek közlekednek. A legnagyobb probléma ezzel az, hogy meg kell oldani az irdatlanul hosszú, és nagyon magasba nyúló cső üzembiztos lehorgonyzását, lévén, hogy a hangsebesség 15-20-szorosával haladó űrjárművek közlekednek benne. A hagyományos, pilléres megoldás kizárt, és a hatalmas teherléggömbök sem megfelelőek, mert nincs megoldva az egy helyben maradásuk. Az egyik elgondolás szerint meg lehetne valósítani a cső relatíve kis költséggel, és nagy biztonsággal történő lebegtetését, méghozzá úgy, hogy a tartókábeleken igen erős áramerősséget vezetnének keresztül, ez pedig az elektromosság törvényeinek megfelelően nagy feszítőerőket keltene bennük. A számítások szerint a cső végének 22 km magasba emeléséhez nem kevesebb, mint 280 millió (!!!) amper áramerősség kellene, ami egy villámcsapás áramerősségének 10 000-szerese! Jelenleg nincs olyan anyag, amely akár csak a töredékét elviselné, de a mérnökök bíznak a szupravezető technika fejlődésében; a mágnesvasutaknál már említett nióbbium-titánium ötvözetből készített, -269 fokra hűtött kábelek fajlagos áramvezető képessége kb. $200\,000\text{ A/cm}^2$, tehát egy viszonylag kis keresztmetszetű vezeték is képes lenne az óriási áramerősség átvitelére, persze meg kellene oldani a folyékony héliummal való hűtést, ami enyhén szólva nem kis feladat. Ekkora áramerősségnél a kábelek 4 tonna feszítőerőt lennének képesek kifejteni, ami elegendő lenne a könnyűszerkezetes pálya megtartásához. A StarTram pálya építési költségeit éppen

ezért nehéz kiszámolni; az egyik tanulmány kilométerenként 100 millió eurós árral számol, tehát maga az alagút mintegy 150 milliárd dollárból épülhetne meg, ami hatalmas összeg. Ha azonban azt vesszük, hogy az elvileg költséghatékonysága miatt elindított úrsikló program mintegy 200 milliárd dollárjába került az USA-nak, és a holdraszállások is nagyjából ennyit emésztettek fel mai áron számolva, máris látjuk, hogy eddig sem volt nehéz ennyi pénzt elkölteni űrkutatási célokra.

Az első és második generáció ötvözésének tekintett Gen 1.5 StarTram inkább a jövőbeli hiperszonikus repülőgépek egy típusa lehetne. A kisebb repülési magasságok miatt „mindössze” 50-80 km hosszú alagutak is elegendők, a kilövési sebesség pedig 3-4 km/s, azaz 12-15 ezer km/h lenne. A repülőgépek saját hajtóművel is rendelkeznének, hogy ezt a sebességet megtartsák, így pedig a Földnek nem lenne olyan pontja, amit 2 óra alatt ne lehetne elérni egy ilyen eszközzel. A StarTram tehát ilyen formában az átlagember mindennapos utazási formájává tehetné az űrutazást (a kezdeti költségek egy emberre 13 ezer dollár körül alakulnának, később ez csökkenne), de ki tudja, hogy – ha megvalósul – ezen felül még milyen potenciálok, és továbbfejlesztési lehetőségek rejlenének egy ilyen hatalmas tervben.

Noha az utoljára bemutatott alkalmazási területek egy kissé már elrugaszkodtak a vákuumcsöves vonatoktól, ez csak azért van, mert – mint látható – nagyon szerteágazó a hajtás bevetethetősége. Ha az ismertetett óriási tervek közül akár csak egy megvalósulna, új korszak kezdődhetne az atmoszferikus hajtás történetében, ami valamennyire talán a sajnos szinte teljes mértékben elfeledett vákuumcsöves vasúti járműveknek is köszönhető.

Felhasznált képek és források:

http://forgottenstories.net	http://www.gkweb.net
http://www.scientific-web.com	http://www.hows.org.uk/
http://chem-guide.blogspot.hu	http://www.heritage-images.com
http://en.wikipedia.org/wiki/Magdeburg_hemispheres	http://en.wikipedia.org/wiki/The_Crystal_Palace
http://zapatopi.net	http://www.columbia.edu
http://eyeofthefish.org	http://modcult.org
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Albert_Robida_-_The_Twentieth_Century_-_Pneumatic_Tube_Train.png	http://www.dieselpunks.org
	http://www.postalheritage.org.uk
http://www.swisslog.com	http://london-underground.blogspot.hu
http://www.cix.co.uk	http://en.wikipedia.org/wiki/London_Post_Office_Railway
http://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_railway	

http://en.wikipedia.org/wiki/File:London_Post_Office_Railway_Map.jpg

<http://www.ddavid.com>

<http://victormatrinxa.blogspot.hu>

<http://www.eetimes.com>

<http://www.skyscrapercity.com>

<http://www.tunneltalk.com>

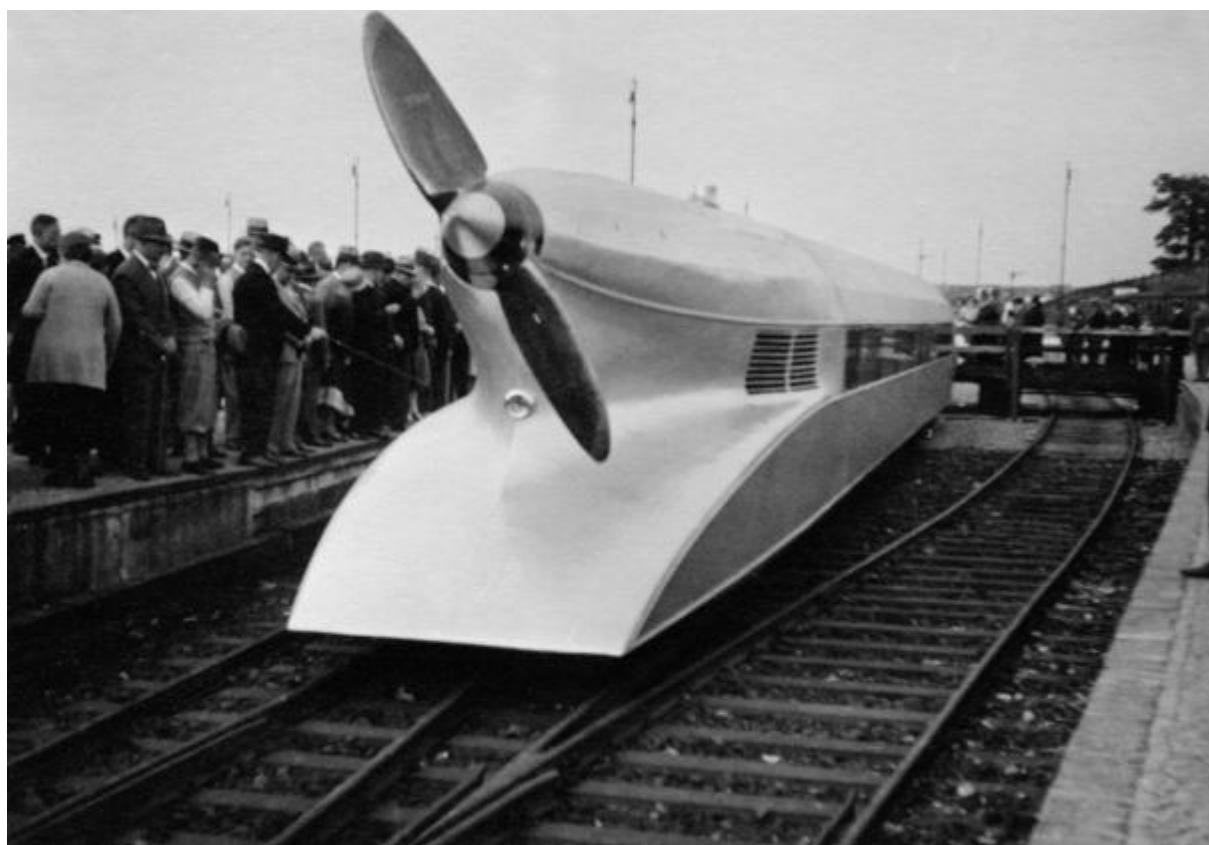
<http://sketchucation.com>

<http://nextbigfuture.com>

<http://www.popsci.com>

VI. FEJEZET

LÉGCSAVAROS VASÚTI JÁR- MŰVEK

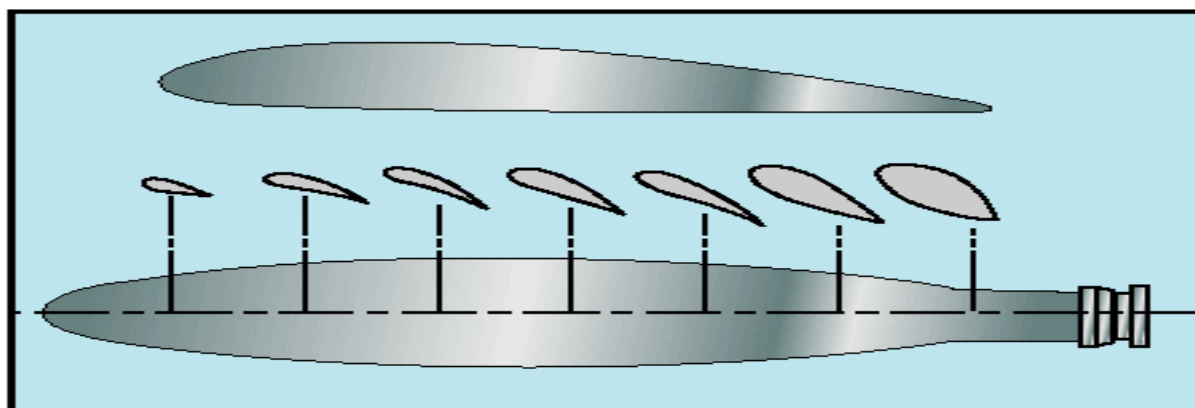


Bevezetés

A dolgozatban tárgyalt ritka vasúti hajtások közül a sikeresek közé tartozik a légc-savaros meghajtás, amelyet – amellet, hogy a kereskedelmi alkalmazásig is eljutott – egy időben a jövő vasúti erőforrásának is tekintettek. A II. világháború előtt, amikor már egyértelmű volt, hogy a légc-savaros repülőgépek előtt nagy jövő áll, megpróbálkoztak a propellek vasúti alkalmazásával is, de talán nem árulok el nagy titkot, ha elmondom, hogy ez korántsem járt akkora sikerrel. A helyzet hasonló volt ahhoz, mint amikor a gázturbinák gyors elterjedése magával hozta, hogy az élet legkülönbözőbb területein próbálták meg bevetni az új, még ismeretlen potenciájú erőforrást, hogy aztán kiderüljön, hogy azért nem mindenhol a legalkalmasabb.



Különböző, repülőgépmodelleknél használt fa- és műanyag propellerek (fent) és egy propeller szelvénykeresztmetszetei a hossza mentén (lent)



A légc-savar

A légc-savar olyan szerkezet, amely a forgó mozgást a körülvevő közeg egyenes vonalú mozgásává alakítja át, és e mozgás a reakcióerejének segítségével megindítja a vele merev kapcsolatban levő testet (járművet). A forgó mozgást a légc-savar lapátjai (tollai) segítségével lehet haladó mozgássá alakítani, ezért a tollak száma és hossza meghatározza a légc-savar által kifejtendő maximális tolóerőt. A propeller meghajtásaként bármilyen, forgómozgást előállító erőforrás elképzelhető; régebben ezen a téren egyeduralkodóak voltak a dugattyús benzinmotorok – ezeket manapság is alkalmazzák kisméretű repülőkön – a modern légc-sava-

ros repülőgépeknél szinte kizárólag gázturbinákat alkalmaznak, de léteznek dízel- és villanymotoros, sőt napelemes meghajtású megoldások is.



Különböző erőforrásokat használó repülőgép-típusok: A Supermarine Spitfire (balra fent), a II. világháború egyik legismertebb szövetséges repülőgéptípusa. V12-es, 1450 lóerős Rolls-Royce benzínmotorjával 605 km/h sebességre volt képes. Lockheed C-130 Hercules teherszállító gép (jobbra fent), az egyik legelterjedtebb tehergép a világon. 4 darab Allison T56-os gázturbinájának összteljesítménye 18 400 LE. Yuneec International E430 (balra lent), a világ legmodernebb elektromos repülőgépe. Mindössze 54 lóerős elektromotorjával 90 km/h sebességgel 230 km-t tud megtenni töltés nélkül. Helios HP01-es (jobbra lent), kísérleti napelemes drón (pilóta nélküli repülőgép). 14 darab, egyenként mindössze 2 lóerős napelem-cellás motorjával a 900 kg-os szerkezet akár 30 ezer méteres magasságban is képes repülni 40 km/h sebességgel. Mivel ott mindig süt a Nap, elvileg csak éjszaka kell leszállnia



A mai formában ismert – motorteljesítményhez és levegőáramláshoz optimalizált – légcsavar korai változata először a Wright fivérekénél jelent meg 1903-ban. Gépük, amelyet Kitty Hawk-nak neveztek el (1900-ban az észak-karolinai Kitty Hawk-ba költöztek) fából faragott légcsavarral és egy bicikliműhelyben épített motorral szállt fel, légcsavarjának hatásfoka elérte a 80%-ot. Ők ismerték fel először, hogy a légcsavarlapát működés közben forgó szárnyként viselkedik, és a saját profilja körüli áramlásnak számítható aerodinamikája van, illetve már ebben a korai stádiumban is végeztek szélcsatorna-kísérleteket, ahol megfigyelhették a légcsavarok körüli áramlásokat. Ennek eredményeként még több mint száz évvel munkásságuk után is ugyanazon elvek alapján számítják és alakítják ki a leghatékonyabb légcsavarformákat, és még a mai legmodernebb példányok hatásfoka is alig 5%-kal haladja meg a legelsőkét. A motorteljesítmény és a repülési sebesség növekedésével a fából készült lapá-

tokat fokozatosan váltották fel az erősebb fémlapátok, a modern légcavarok tollai pedig már a fémekhez hasonló teherbírású, de sokkal könnyebb szénszálas műanyagból, kompozitokból készülnek.

A közlekedésben használt légcavarok tervezésénél és méretezésénél az egyik legfontosabb szempont, hogy a kerületi sebesség nem lépheti át a hangsebességet, mert az ilyenkor keletkező rezonanciák és áramlásleválások tönkreteszhetik a lapátokat és a motort. Elméletileg lehet szuperszonikus forgási sebességre is méretezni légcavart, de ez sem a repülésben, sem az itt tárgyalt vasúti alkalmazás területén nem használatos. A gyakorlatban a légcavarok legnagyobb kerületi sebessége 220 m/s-, azaz 800 km/h körüli, ennek megfelelően a nagy átmérőjű lapátok lassabban, a kisebbek nagyobb fordulatszámmal foroghatnak.



A Wright fivérek, Orville és Wilbur (balra) illetve első gépük, a Kitty Hawk 1903-ból (jobbra)

A propellerek másik fontos jellemzője az állásszög, azaz, hogy a hordozó közeg (levegő) milyen szögben érkezik a lapátok felületére. Ha ez 0 fok, (a légcavar tollai nem zárnak be szöget a forgássíkkal), nincs vonóerő, az az állásszög növelésével növekszik addig a pontig, amíg a túl nagy szög miatt a légcavar az áramlásleválások következtében már nem tud tolóerőt kifejteni, azaz átesik. Ezt mindenképpen kerülni kell, így a meghajtó motor kiválasztásánál fontos szerepet játszik, hogy az átesési szögnél jóval kisebb állásszögön képes legyen megfelelő tolóerőt szolgáltatni.



Fából készült, nem állítható propeller egy régi kétfedelűn (balra), és változtatható állásszögű légcavar tesztelés közben, vitorlázóállásban (jobbra)

A repülés kezdeti időszakában a fából faragott légcsavarok állásszöge állandó volt, azonban ma már léteznek olyan légcsavarok, amelyeknek ez a jellemzője változtatható, ezáltal a vonóerejük is. A legmodernebb példányokat pedig akár 90 fokos állásszögre, „vitorlázásra” is be lehet állítani, aminek zuhanórepüléskor van jelentősége, mert ilyenkor egy hagyományos légcsavart a szokottnál gyorsabb légáramlat túlpörgetné, ezen keresztül pedig a motort károsítaná.



Balra fent: Kamov Ka-26-os szovjet permetező helikopter. Koaxiális elrendezése miatt nem kell farokrotort alkalmaznia, fordulni a rotorok fordulatszám-különbségének változtatásával tud. Jobbra fent: Egy Antonov An-70-es kettős légcsavarkoszorúja. Lent: Airbus A400M „Grizzly” a világ legmodernebb légcsavaros gépe. Baloldali motorjai az óramutatóé-, a jobboldaliak azzal ellentétes irányba forognak



A légcsavarok forgása Newton III. törvényének megfelelően jelentős reakciónyomatót fejt ki a hajtómű pilonjaira, ezt a gépek szárny-tartószerkezetének tervezésekor figyelembe kell venni. Nem kell azonban e kellemetlen jelenséggel számolni, ha a motor tengelyére kettő, ugyanakkora átmérőjű, de ellentétes irányba forgó légcsavar-garnitúrát teszünk. Az ilyen, ún. koaxiális légcsavaroknak több előnye is van: egyrészt fele akkora átmérővel közel

ugyanakkora vonóerőt képesek kifejteni, másrészt pedig a légcsavar eredő nyomatéka (közel) 0 lesz, mert az ellentétes irányba forgó propellerek egymás reakciónyomatékát kioltják. Többmotoros gépeknél alkalmazzák a szembeforgó légcsavaros megoldást, ahol az egyes hajtóművek csak egy légcsavarkoszorúval vannak felszerelve, és a két propeller (és motorjaik) forog ellenkező irányba, ugyanazt a hatást elérve, mint a fenti esetben. Napjainkban egyre több gépet építenek ilyen koaxiális-, ill. szembeforgó légcsavarokkal, mert segítségükkel a repülő kormánylapátjait egyszerűbb kivitelűre lehet tervezni.

„Fordítva” működő légcsavarok: szélturbinák



Balra: Enercon E-126, a világ legnagyobb szélturbinája. Teljesítménye 7,5 MW, legnagyobb magassága közel 200 méter, tehát kétszer magasabb a Parlamentnél. Jobbra: 5 MW-os tengeri szélturbinák az Északi-tengeren, Belgium partjainál

Éppen fordított a helyzet a légcsavarok másik nagy alkalmazási területénél: az energiatermelésben. Ezesetben nem a légcsavar készlet mozgására a hordozó közeget, hanem a hordozó közeg forgatja meg a propellert, amelyet ha megfelelő villamos gépekkel, generátorokkal kötünk össze, a szél energiája elektromos energiává alakítható át. Mivel a szélenergia a fosszilis- és nukleáris üzemanyagokkal ellentétben „ingyen van”, elméletileg maga az energiatermelés olcsóbb azoknál, viszont egy szélfarm telepítése a várható teljesítményhez képest nagy beruházási költségekkel jár. A környezetvédelmi előírások szigorodása miatt már nem csak a fejlett országokban terjedő szélerőművekben hatalmas potenciál rejlik, de az építés nagy fajlagos költsége, a tényleges várható teljesítmény kiszámíthatatlansága, és egyéb környezeti ártalmak miatt (a légcsavarok az állatok számára káros infrahangokat keltenek, valamint a 300 km/h körüli kerületi sebességgel forgó lapátok megijeszthetik, vagy leüthetik az arra vonuló madarakat). A megfelelő szak fórumokon jelenleg is éles viták zajlanak a szélturbinák létjogosultságáról. A szélerőművek – mivel pillanatnyi teljesítményüket az időjárás határozza meg – nem alkalmasak állandó teljesítményt szolgáltatató ún. alaperőműnek, ezért szinte mindig gyorsreagálású ún. csúcserőművekként használják őket. A világ még csak most kezdi felfedezni az áramtermelés ilyen módjából adódó lehetőségeket; jelenleg

közel 200 gigawatt a szél erőművek összteljesítménye, ez a világ energiatermelésének 2,5 %-a, de 2018-ra szeretnék elérni a 8%-os részesedést. A legnagyobb arányban Dániában alkalmazzák őket, itt a termelés 21%-át adják ilyen erőművek. Magyarországon 2012-ben 172 szél-turbina működik, összteljesítményük 330 megawatt (mivel egyszerre sosem működik az összes turbina maximális teljesítményen, ez egy adott pillanatban kb. 1%-os részesedést jelent, de ha mind egyszerre dolgozhatna, az a paksi atomerőmű teljesítményének mintegy egyötödét tenni ki).

LÉGCSAVAROS VASÚTI JÁRMŰVEK

A szovjet Aerowagon: az első légcsavaros „motorkocsi”

A repülésben és az energiatermelésben látott sikerek ellenére a légcsavaros vasúti vontatás története szerény. Az első próbálkozást egy Valerian Abakovszkij nevű litván mérnök műve jelentette, amely az Aerowagon nevet kapta. Az egyetlen megépült kísérleti kocsi egy korai repülőgépmotort használt hajtóegységként, és egyedül annak tolóereje gyorsította, tehát a vonatnak nem voltak hajtott tengelyei. Az Aerowagon 1921-ben készült el, és használatának tervezett célja az éppen akkor megalakult Szovjetunió magas rangú katonai és politikai vezetőinek gyors és stílusos szállítmányozása lett volna. Sajnos erre azonban sosem került sor. 1921. július 24-én az Aerowagon éppen Moszkvába tért vissza Tula városából egy tesztút keretében, amikor egy kanyarban nagy sebességgel kisiklott; a rajta utazó 6 mérnök – köztük maga Abakovszkij – azonnal szörnyethalt, a kocsi pedig teljesen megsemmisült a balesetben. Abakovszkijt – aki maga lelkes kommunista volt – és 5 társát a Kreml-ben temették el, mint nemzeti hősokeket.



Az Aerowagon

A „Bennie Railplane” – szűk 100 méternyi ábránd

Nem volt ilyen szerencsétlen sorsú, de szintén sikertelen pályafutást tudhat magáénak az amúgy igazán látványos ötletnek ígérkező skót „Bennie Railplane” (Bennie vasúti repülő). A terv több szempontból is újszerű volt. Egyrészt a vonatok légcsavar-meghajtásúak lettek volna, másrészt pedig a pálya, amin közlekedtek, szintén egyedülálló volt. A hagyományos sínek fölé egy – a toronydaruk rácsos pilléreire emlékeztető tartószerkezetet építettek, a kocsik erre felfüggesztve közlekedtek volna, a kerekeik pedig hagyományos síneket használtak volna megvezetésként, ami – mivel a teherhordó szerepét a tartógerendák vették át – a normál vasutaknál jóval gyengébb felépítményű is lehetett. Az egész pálya már megépült sínek fölé került volna, így a nagysebességű repülőgépvonatok nem zavarták volna az alattuk zajló lassú teherforgalmat. A terv kitalálója – George Bennie skót mérnök – 1930-ban még egy – mindössze 120 méter hosszú – tesztpályát is építtetett az egyetlen prototípus mellé. Bennie a Railplane-t a jövő vasútjának szánta, és távlati terveiben egy egész Nagy-Britanniát átszövő, a királyság fontosabb városait összekötő Railplane-vasúthálózat szerepelt. A tesztpálya azonban túl rövidnek bizonyult a nagysebességű tesztekhez, és Bennie nem talált befektetőket újszerű ötletének finanszírozásához, így 1937-ben vállalkozása csődbe ment. A pályát és a kocsit eladták ócskavasnak és 1950-ben elbontották.

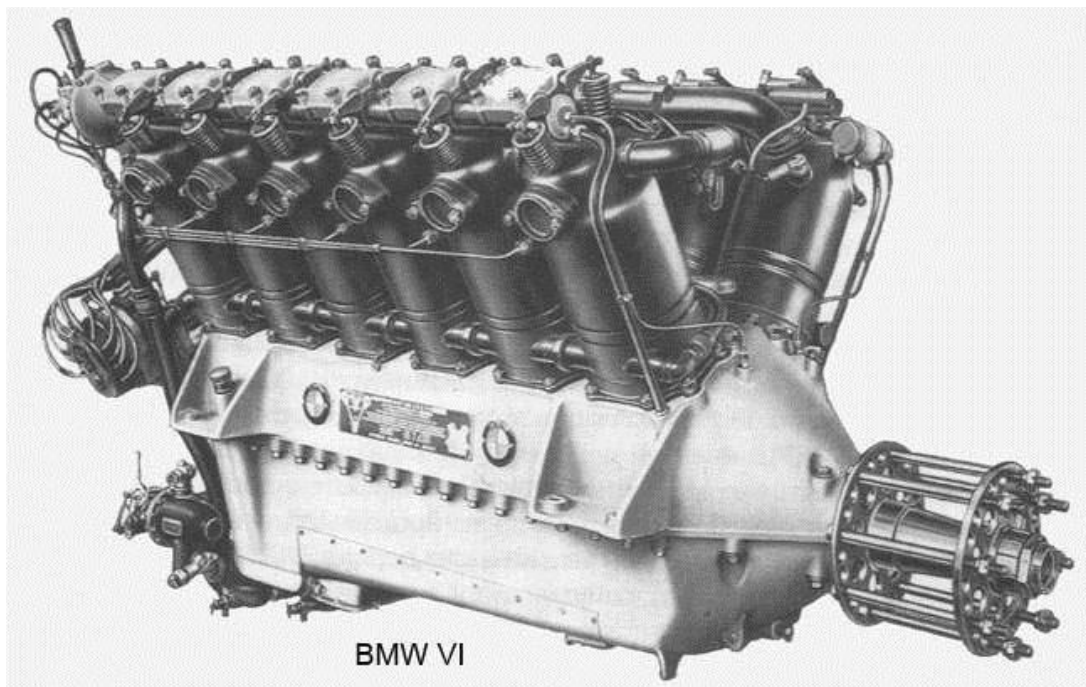


A Bennie Railplane (balra) és az azt hirdető reklámplakát 1930-ból (jobbra)

Német „siker”: A Schnienenzeppelin

Bennie kísérletével pont egybeesett a légcsavaros vonatok legsikeresebb képviselőjének, a II. világháború előtti Németországban épített áramvonalas Schienenzeppelin-nek (Sínzeppelin) a bemutatása. A szárazföldi léghajóra (innen a neve) hasonlító szerkezetet a német repülőmérnök, Franz Kruckenberg tervezte 1929-ben. Az egyetlen prototípus építésével 1930 őszére végeztek a DRG (Deutsche Reichsbahn – Német Birodalmi Vasutak) hannoveri gyárában. A nagyon könnyű építésű, – 26 méteres hossza ellenére mindössze 20 tonna tömegű – alumíniumból készült csillogó szivartestet eredetileg két darab soros hathengeres, egyenként 250 lóerős BMW repülőgépmotor mozgatta, később ezeket egy V12-es, 45 800 cm³ lökettérfogatú, 650 lóerő teljesítményű, szintén BMW-gyártmányú vízhűtéses benzinkomotorra cserélték. Az eredetileg négy-, majd 1932-től kéttollú, fix állásszögű, kőrisfából készült légcsavart úgy helyezték el, hogy 7 fokkal felfelé nézett a vízszintes helyzethez képest;

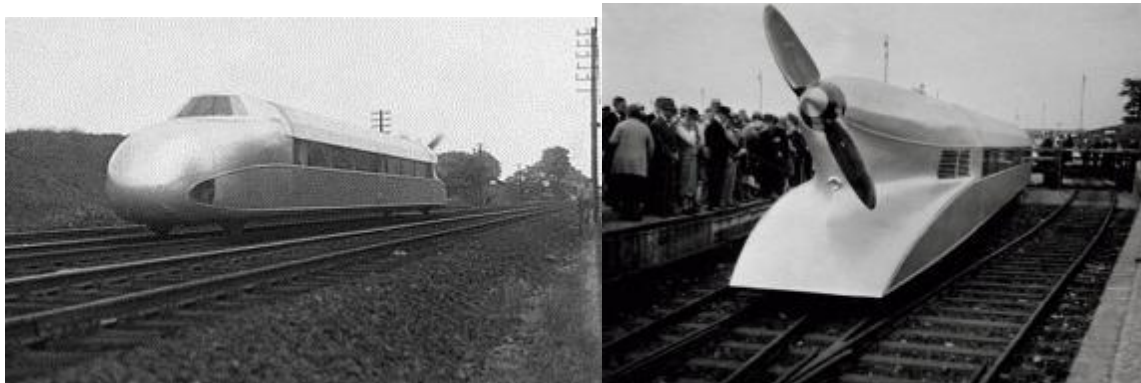
nagy sebességeknél így a tolóerő egy része leszorítóerőként jelentkezett, amire a kis tömeg miatt volt szükség. A könnyű motorkocsiban egyébként is mindent a tömegcsökkentésnek rendeltek alá, így berendezése elég szegényes volt, és mindössze 40 utast tudott szállítani. A Sínzeppelin a korhoz képest hihetetlen menetteljesítményekre volt képes. 1931 májusában átlépte a 200 km/h-t, egy hónapra rá pedig 230,2 km/h-val olyan sebességrekordot állított fel, amelyet csak 1954-ben sikerült megdönteni. Rekordja azonban azóta is áll a leggyorsabb légcsavaros vasúti jármű, és a leggyorsabb benzinmotoros vonat kategóriájában.



A Schienenzeppelin BMW VI típusú, V12-es turbófeltöltésű repülőgépmotorja

1932-ben Kruckenberg vezetésével több módosítást is eszközöltek a járművön; orr-részt áttervezték, és lecserélték a légcsavart is. A legnagyobb változást azonban az jelentette, hogy az eredetileg hajtás nélküli tengelyekkel rendelkező motorkocsi első tengelyének helyére egy kéttengelyes, a motor által hidrodinamikus nyomatékvtákon keresztül meghajtott forgóvázat építettek be. Erre azért volt szükség, mert miután a Sínzeppelin addig nem a kerék-sín tapadás segítségével működött, nem tudott meredek emelkedőkön felmenni, valamint eredetileg hátrafelé sem volt képes haladni. A két darab Föttinger-Fluid típusú hajtómű segített ezen, de mivel az átalakítások nem érintették a motort, a kocsi maximális sebessége 180 km/h-ra esett vissza. A DRG nem volt elégedett az átalakítás eredményeivel, ezért saját projektbe fogott bele; ebből született meg 1932-ben a „Fliegender Hamburger” (Repülő Hamburgi) nevű dízel motorvonat, amely később több sebességrekordot is felállított a dízelvontatásban, és egyben az akkor beinduló náci propagandagépezet egyik zászlóshajója is lett. 1934-ben a Sínzeppelint megint újjáépítették, két darab 400 lóerős Maybach GO-5-ös dízelmotorral, majd az év júliusában a DRG megvásárolta a gépet. Sajnos a motorkocsi felépítése és működési sajátossága rengeteg probléma gyökere volt. A légcsavar nagy sebességeknél felkapta a pályatest ágyazatából a köveket, illetve az állomásokon komoly veszélyforrást jelentett a mindenféle burkolat nélkül, 2000-es percenkénti fordulattal forgó propeller. A kocsihoz továbbá nem lehetett más vagonokat kapcsolni, és vonatba sem lehetett besorozni, ezenfelül az irányváltáshoz nagyméretű fordítóköröngökre volt szüksége. A zeppelin egyetlen

előnyét, a nagy sebességet sem lehetett kihasználni a gyenge felépítményű, kis sebességekre alkalmas, és jóval lassabb személy- és teherforgalommal terhelt vasutakon. A gyors Sínzeppelin menetrendjét egyszerűen túl nehéz lett volna összeegyeztetni a korabeli vonatkéval. A bajokat már csak tetézte, hogy a kocsi kevés utast tudott magával vinni, sokat fogyasztott, és megbízhatósága sem volt a legjobb. A „sorozat” végét mégsem ezek a hátrányok, hanem az 1939-ben kitörő II. világháború jelentette. Az értékes hadianyagokat – alumínium, repülőgépmotor – tartalmazó kocsit a hadsereg foglalta le, és használta fel. A Sínzeppelinről így már csak néhány korabeli fotó, és egy-két videófelvétel maradt ránk.



A Sínzeppelin 1931-ben, még eredeti orr-résszel (balra fent) és a motorkocsi kéttollú légcsavarja (jobbra fent). Balra lent: a motorkocsi 1933-ban, módosított orr-résszel. Jobbra lent: A Schienenzeppelin helyett megépített „Fliegender Hamburger” nagysebességű dízel-villamos motorvonat 1933-ban. A vonat két darab Maybach dízelmotorral rendelkezett, melyeknek összteljesítménye 800 LE volt. Végsebessége elérte a 160 km/h-t, a vonat egy alkalommal egy 290 km-es utat 125 km/h átlagsebességgel tett meg, ami rekordnak számított akkoriban.



A sajnálatos tanulság

A Sínzeppelin leállításával véget is ért a légcsavarok rövid pályafutása a vasúti vontatásban. Helyüket a háború után a gyors, könnyű dízel- és gázturbinás motorvonatok vették át, és a sebességek növekedésének köszönhetően, továbbá a légcsavarok veszélyes üzeme miatt később sem merült fel, hogy vissza kéne térniük a sínekre, így csak ez a pár furcsa és érdekes próbálkozás maradt okulásul az utókor számára.

Felhasznált képek és források

<https://www.hobbyking.com>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Schienenzeppelin>

<http://www.free-online-private-pilot-ground-school.com>

<http://www.siol.net>

<http://aircraft.desktopnexus.com>

<http://www.tognum.com>

http://hu.wikipedia.org/wiki/C%E2%80%933130_Hercules

<http://hu.wikipedia.org/wiki/L%C3%A9gcsavar>

<http://www.gizmag.com>

<http://www.nasa.gov>

<http://www.kidcyber.com.au>

<http://mredwrightbros.blogspot.hu/>

http://en.wikipedia.org/wiki/Airbus_A400M_Atlas

<http://media.defenseindustrydaily.com>

<http://www.clubhyper.com>

<http://www.airliners.net>

<http://www.homebuiltairplanes.com>

<http://www.wind-turbine-manufacturers.com>

<http://journalofthebizarre.blogspot.hu>

<http://www.theglasgowstory.com>

http://en.wikipedia.org/wiki/File:The_George_Bennie_Railplane_System_of_Transport_poster,_1929.png

<http://www.airpages.ru>

<http://oko.yin.cz>

VII. FEJEZET

LÉGPÁRNÁS VASÚTI JÁR- MŰVEK



Bevezetés

A légpárnás vonatokról a maglevekkel kapcsolatban már esett szó. Nem véletlen, hiszen mindkét hajtást ugyanaz az igény szülte; a gördülési ellenállás megszüntetése. Megjelenésük apropóján túl idejük is nagyjából egybeesik (60-as, 70-es évek), de a „formátumháborút” aztán a mágnesvonatok nyerték meg. A légpárnás vasúti járművekből nem sok létezik manapság a világon, azok is inkább az egyéni, létesítményen belüli közlekedés célját szolgálják, és a vonatokra csak kötöttpályás mivoltukban hasonlítanak. A nagyvasút területéről a hajtás sajnos mára teljesen kiszorult, bár számottevő szerepe sosem volt etéren. A fejezetben alább a fontosabb, légpárnás felfüggesztést alkalmazó vonatok kerülnek bemutatásra.

A légpárnák működése, típusok

A légpárnás hajtásnak – pontosabban felfüggesztésnek, mert a hajtásról általában másmilyen erőforrás (gázturbina, villanymotor) gondoskodik – közös tulajdonsága a maglevvel, hogy valamilyen módon elérjük, hogy a jármű felemelkedjen a pályáról, ezzel megoldják a súrlódás problémáját. De míg a maglevnél az elektromágneses tasztítást-, ill. vonzást használják fel, addig ez esetben a jármű alá nagyteljesítményű ventilátorokkal nyomott levegőt ejtik csapdába, és az így kialakuló nagynyomású légréteg – ha megfelelően sima a talaj, és meg van oldva, hogy ne szökhessen el – elemeli a földről azt. Noha a légpárnások szintén levegő segítségével emelkednek a „magasba”, hivatalosan nem tartják őket repülőgépnek, bár szerkezeti megoldásaik több helyen is emlékeztetnek azokra. Nagy különbség, hogy az emelkedés mértéke itt nem nagy, a maglevекhez hasonlóan néhány centiméter, nagyobb légpárnás hajóknál esetleg néhányszor tíz cm.

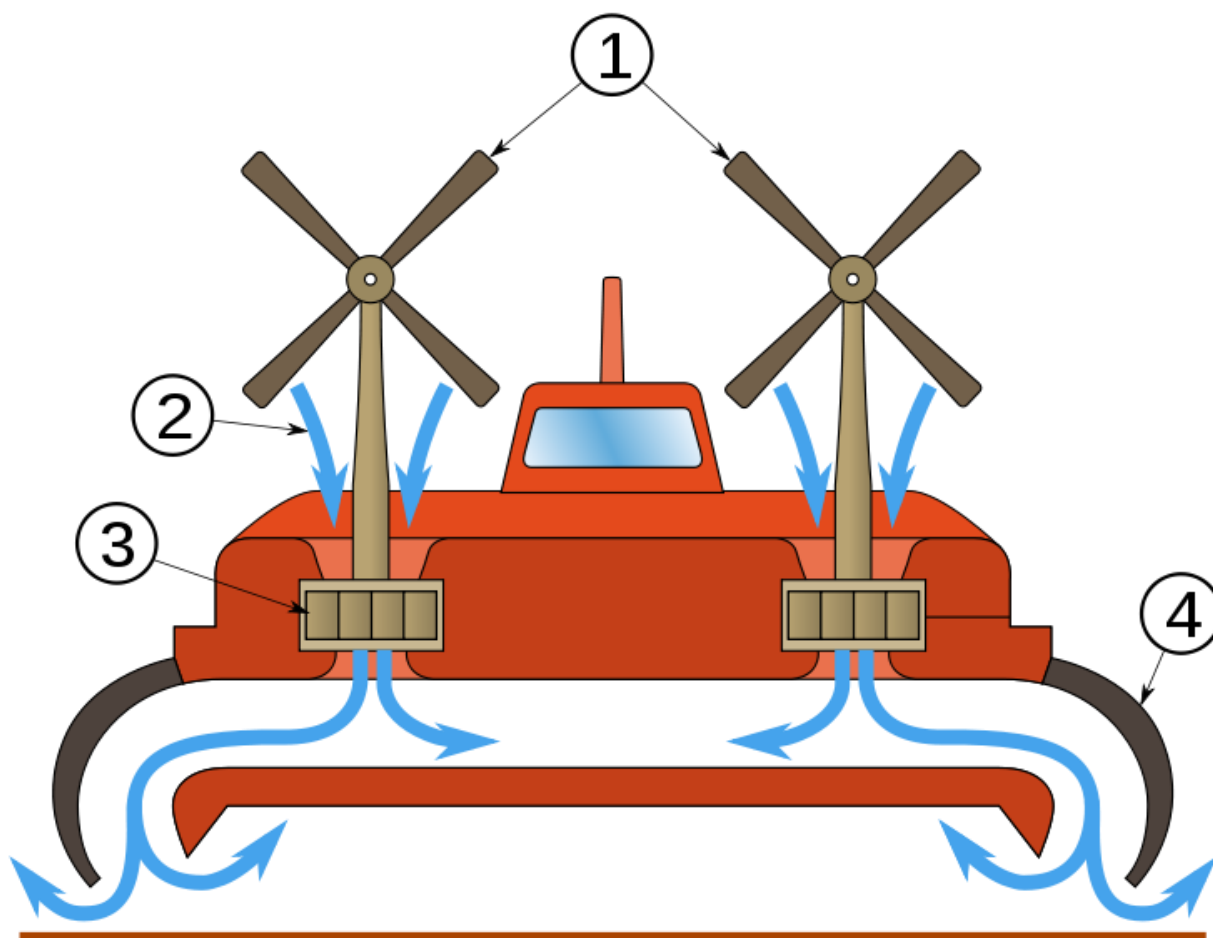
A légpárnák előnyei...

Mivel ilyenkor a teherhordásban a test egész alapterülete részt vesz, a légpárnás járművek „tengelynyomása” nagyon alacsony, így a pályát is kis terhelésre lehet méretezni. Mivel nincs súrlódás, a légpárnás gépekkel viszonylag nagy hatásfokot lehet elérni, azonban mivel a vonóerőt legtöbbször nem merev kapcsolattal teremtik meg (légcsonk, gázturbina) az ilyen típusú légpárnások nem képesek nagy emelkedőket megmászni. A légpárnás járművek a maglevекhez hasonlóan elképesztő sebességekre képesek; a világ leggyorsabb kereskedelmi hajói mind légpárnások, de az ilyen típusú vonatok is a maglevекkel vetekedő sebességeket voltak képesek elérni.

...és hátrányai

Mivel azonban meghajtásukhoz és megtartásukhoz nagyteljesítményű motorokra volt szükség, sajnos azoknál jóval magasabb fogyasztással üzemeltek, ez pedig az egyik – ha nem a fő – ok volt, amiért később a fejlesztők mind a vonatoknál, mind a hajóknál más megoldások mellett tették le voksukat.

A légpárnás járművek felépítése



Egy légpárnás jármű működési elve. 1.) Meghajtó légcsavarak 2.) Beszívott levegő 3.) Emelő légcsavarak 4.) Rugalmas szoknya

A légpárnás járművek hajtóegységei két feladatot látnak el; az emelést és a meghajtást, bár nagyobb gépek esetén (pl. hajók, és a cikkben tárgyalt vonatok) túlnyomórészt erre a két célra külön gépegységeket alkalmaznak. Az emelésre általában kisebb teljesítményű belső égésű motor, kis gázturbina, vagy akkumulátorról táplált villanymotor is megfelelő. Az emelőáramlat létrehozása a legtöbb esetben ventilátorokkal, vagy kompresszorokkal történik. A kialakult nagynyomású légréteget (az angolban a szemléletesebb „airfoil”- légfólia kifejezés használatos) a jármű másik legfontosabb részével, a szoknyával tartják meg. A szoknya lehet rugalmas anyagból (gumi vagy vászon), ezt a befúvatott levegő fújja fel és így éri el végleges alakját, vagy maga a jármű kialakítása lehet olyan, hogy az emelő légpárna ne szökhesen el alóla idő előtt. Mivel a merev szoknya nem alkalmas a jármű súlyának megtartására, ilyen esetekben segédkerekekkel is felszerelik a gépet, hogy a motor kikapcsolása után legyen mire leereszkednie. Kisebb méreteknél alkalmazzák azt az eljárást, amelynél a rugalmas szoknya kialakítása úgy van megoldva, hogy a kiszökő levegő egyben tolóerőt is szolgáltatson, így nem kell külön hajtómotor.

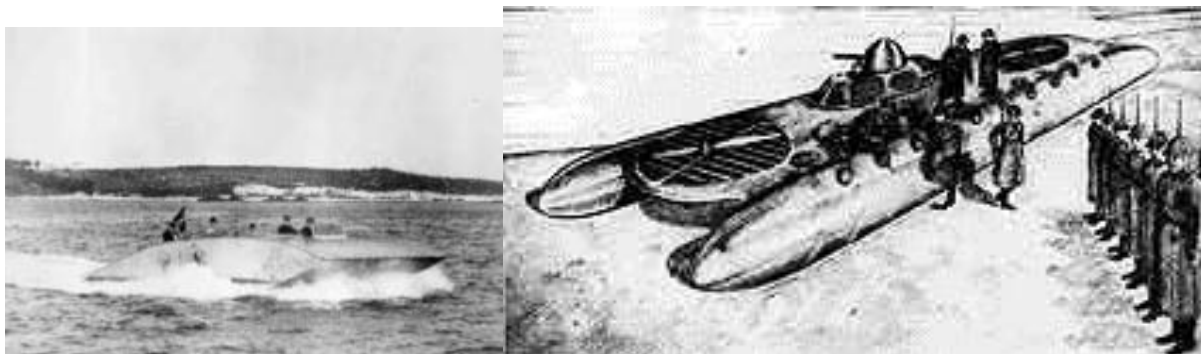


HM2-es merevszoknyás (balra) a Hovercraft Museum-ban, és egy LCAC típusú katonai, nem merev szoknyás partraszálló légpárnás hajó (jobbra)

A légpárnás járművek története

A hajtás története nagyjából egyidős a maglevekével, de kezdetei azoknál jóval korábbra nyúlnak vissza. A légpárnások működésének elméleti alapjait 1716-ban egy svéd tudós, Emanuel Swedenborg fogalmazta meg, hogy aztán mintegy 200 évig teljes csend honoljon ezen a téren. Egészen az I. világháborúig, 1915-ig kellett várni, hogy megszülessen az első légpárnás jármű. A Nagy Háború második évében egy osztrák hadmérnök, Dagobert Müller építette meg a hadsereg számára a Versuchgleitboot (Kísérleti Szárnyashajó) névre keresztelt, furcsa kinézetű harci csónakját. A szerkezet egy szárnyprofil keresztmetszetű hajótestből, az arra szerelt 4 darab meghajtó, és egy emelő motorból állt, amelyeket repülőgépekből selejtezték ki. A szárnyprofil alak azért volt lényeges, mert így hajó nagy sebességeknél az alája beáramló levegő által kifejtett felhajtóerő (ún. Ground Effect) lévén még jobban megemelkedett, így kevésbé érintkezett a vízzel, és nem kellett akkora teljesítmény a mozgatásához. A korát ezáltal évtizedekkel megelőző jármű 60 km/h sebességre volt képes, tehát gyorsabb volt az akkori hadihajók nagy részénél. A tesztek alatt egyébként fegyverzetet is kapott (2 torpedót), mert a járművet az olasz fronton, az Adriai-tengeren akarták bevetni. Sajnos a háború súlyosbodása a több millió emberi áldozat mellett a légpárnás kísérletek feladását is magával hozta; a rosszul dokumentált események miatt nem tisztázott a Versuchgleitboot további sorsa, de valószínűleg szétvágták, alapanyagait a hadiüzemek használták fel, repülőgépmotorjai pedig nagy eséllyel visszatértek eredeti rendeltetésükhöz.

A mai légpárnás hajók megoldásait felvonultató első példányt 1937-ben készítette el Toivo J. Kaario finn repülőmérnök. A találmány – amelyet Pintaliitaja-nak neveztek, ami finnül egyaránt jelent „felület felett lebegő”-t és divatost – rendelkezett hajtó, és emelőmotorokkal, valamint rugalmas szoknyával is.



Dagobert Müller Versuchgleitboot-ja 1915-ből (balra) és a Pintaliitjä légpárnás, 1939-ből

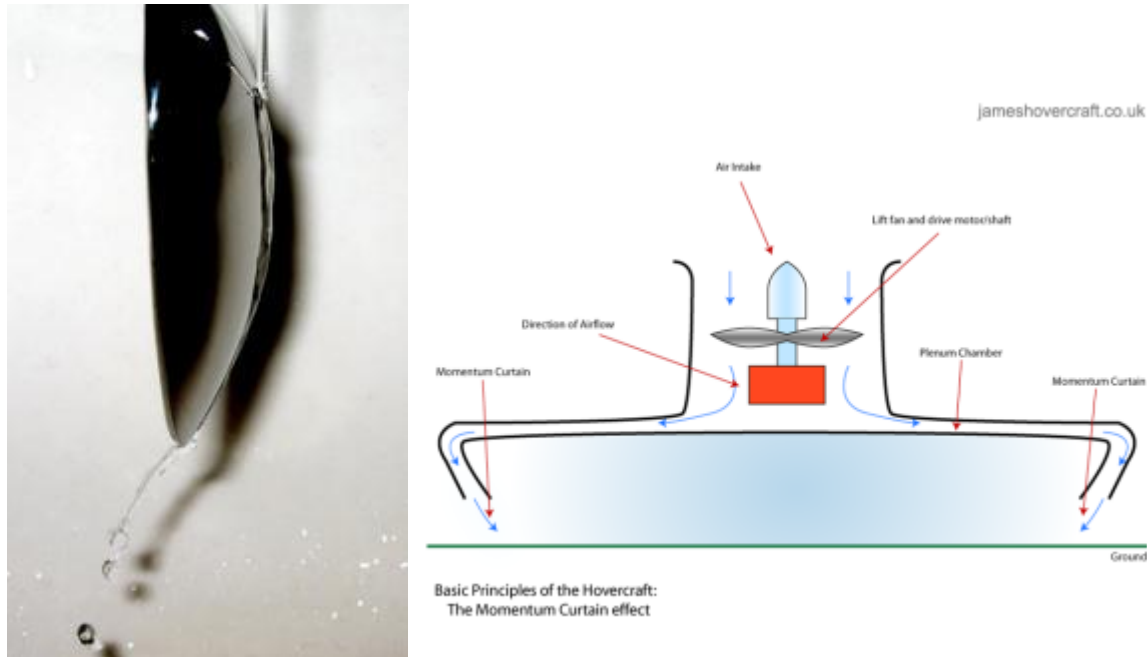
A kanadai John Carter Meadows Frost a háború után tökéletesítette a légpárnás hajtást azzal, hogy felfedezte – a fluid-dinamikában csak Coanda-effektusnak nevezett jelenséget tanulmányozva – hogy egy sima felület alá nyomtatott levegő gyűrűs légáramlatokba rendeződik, ez pedig – ha megfelelően csapdába van ejtve – képes hatalmas tömegeket felemelni. Találmányát az Avrocar névre keresztelt légpárnás autón keresztül mutatta be.



A repülő csészealjra hasonlító Avrocar, 1959. A furcsa szerkezetet a középpontban elhelyezett Avro gyártmányú sugárhajtómű emelte 60 centi magasra, elindulni gázugár-fordítóval lehetett. Az Avrocar nem lett valami sikeres. Sokat fogyasztott, billegett, lassú volt, ezért egyszerűen nem kelhetett versenyre se az autókkal, se a repülőgépekkel. Emiatt a XX. század leghaszontalanabb találmányai közé választották

Christopher Cockerell – akinek gyakorlatilag a modern légpárnás hajók a létüket köszönhetik – további felfedezéseket tett. A Coanda-hatás tanulmányozása során észrevette,

hogy a kialakult gyűrűs légáramlatok a felülethez tapadva gyakorlatilag egy éles határvonallal – melyet Cockerell momentum curtain-nek (szabad fordításban légfüggönynek) nevezett el – választódnak el a környezettől, és így egy nagyon vékony – tehát kis energiabefektetéssel létrehozható – légréteg is elegendő hatalmas testek lebegtetéséhez. Az emelést ilyenkor nem a légréteg nyomási vagy mozgási energiája, hanem egyedül ez a jelenség biztosítja. Cockerell az 50-es években épített tesztjárművei negyedakkora teljesítményt igényeltek a lebegtetéshez, mint a korábbi példányok.



A Coanda-effektus szemléltetése egy kanállal és egy vékony vízszugárral (balra), illetve a légfüggöny működése (jobbra, a kék nyilak az emelőáramlatot jelzik)

Az általa épített első sikeres légpárnás hajó, az SRN-1 (Sanders Roe Nautical-1) első változata egy 550 lóerős, Alvis Leonidas típusú 9 hengeres csillagmotort használt hajtóműnek, a szoknyakialakítás olyan volt, hogy a kiáramló levegő egyben előre is hajtotta a furcsa kinézetű hajót. Az SRN-1-es a vízén 35 csomós, azaz 65 km/h-s sebességgel is képes volt haladni, majd amikor a dugattyús motor mellé egy Bristol-Siddeley gázturbinás sugárhajtóművet, illetve rugalmas szoknyát is beszereltek, a légpárnás végsebessége vízén 50 csomóra (93 km/h) növekedett, ezzel lekörözve minden korabeli vízi járművet. A SRN-1-es egyébként képes volt a szárazföldön is közlekedni, ezzel nagy stratégiai előnyt biztosított bármilyen más katonai járművel szemben. Az első tesztek 1959-ben tartották, de sem a légierő, sem a haditengerészet nem érezte magához tartozónak a „vízi repülőgépet” (előbbi hajónak, utóbbi repülőgépként tartotta), így az SRN-1-est 1961-ben leállították, ma pedig múzeum őrzi. A fejlesztés későbbi példányai – SRN-1 I, II, III, IV – még ennél is fejlettebbek voltak (áramvonalas orr és tat, az emelést és a meghajtást egyszerre ellátó sugárhajtómű) szintén nem érdekelték az illetékeseket. Cockerell ezután a kereskedelmi hajózás felé fordult, és elhatározását siker koronázta. 1966-ban az SRN-6-os hajóval beindult a La Manche-on keresztül a légpárnás személyszállítás, 1968-ban pedig az SRN-4-es típusú légpárnás kompja az első ilyen nemű kereskedelmi szállítóeszköz lett a világon; a 60 autót és 420 embert szállítani képes gépek 3 darab, egyenként 3800 lóerős, Rolls-Royce Proteus típusú gázturbinával voltak felszerelve, 110 km/h-s utazósebességük pedig messze-messze meghaladta a hagyományos kompokét.



Az SRN-1-es kísérleti-, illetve a kanadai partiőrség egyik SRN-6-os légpárnás hajója

A világon ekkorra már sok helyen közlekedtek légpárnás hajók; Cushioncraft, Red Funnel, Hoverlloyd, Seaspeed, hogy csak néhányat említsünk. Az SRN-eket is üzemeltető Sanders Roe-ból később megalakult British Hovercraft Company üzemelteti a világ leggyorsabb hajójáratát; az itt közlekedő, francia gyártmányú, 16 000 lóerős SEDAM NaviPlane-500-as gépek 137 km/h átlagsebességgel közlekednek! A légpárnások rövid fénykorának – mint oly sok más közlekedési eszközének – az 1973-as olajválság vetett véget. Sok hajóüzemeltető a jóval lassabb, de gazdaságosabb katamaránokra tért át ezután, bár néhány helyen még manapság is találkozni a gyors légpárnásokkal.



SEDAM NaviPlane-500 típusú légpárnás komp (balra). Végsebessége vízen 160 km/h, de ki tud jönni sík vízpartokra, mint a képen is látható. Norman Arrow, (jobbra) a világ legnagyobb személyszállító katamaránja. Hossza 112 méter, utazósebessége 39 csomó, azaz kb. 72 km/h. A hatalmas hajótestet 4 darab, összesen 50 000 LE teljesítményű MAN dízelmotor hajtja.

A hajózáson kívül számos más alkalmazási köre ismert a légpárnáknak, bár drága gyártásuk, és kényes üzemi követelményeik miatt nem elterjedtek. A vasúti alkalmazás bemutatása jelen fejezet témája, de léteznek légpárnás autók, motorok, terep- és mocsárjárók, sőt háztartási eszközök is, és bizonyára sokan játszottak már a játéktermekben található légkorongos asztali játékkal is.



Balra: Flymo „Hover mower” légpárnás fűnyíró, amelynek vágókése egyben emelő ventilátorként is szolgál. A megoldás előnye, hogy bármilyen irányba mozgatható, és a kiszökő levegő egyben szét is teríti a levágott fűvet. Jobbra: Az ausztrál Hoverbike-2 légpárnás, iker-rotoros „motorkerékpár”



Balra: Samsung Navibot, légpárnás robotporszívó. Jobbra: A kocsmák egyik kedvelt játéka: az AirGame, vagy AeroHockey, amelynél a kapuba juttatandó korongok az alájuk fújlt légáramlaton siklanak

LÉGPÁRNÁS VONATOK

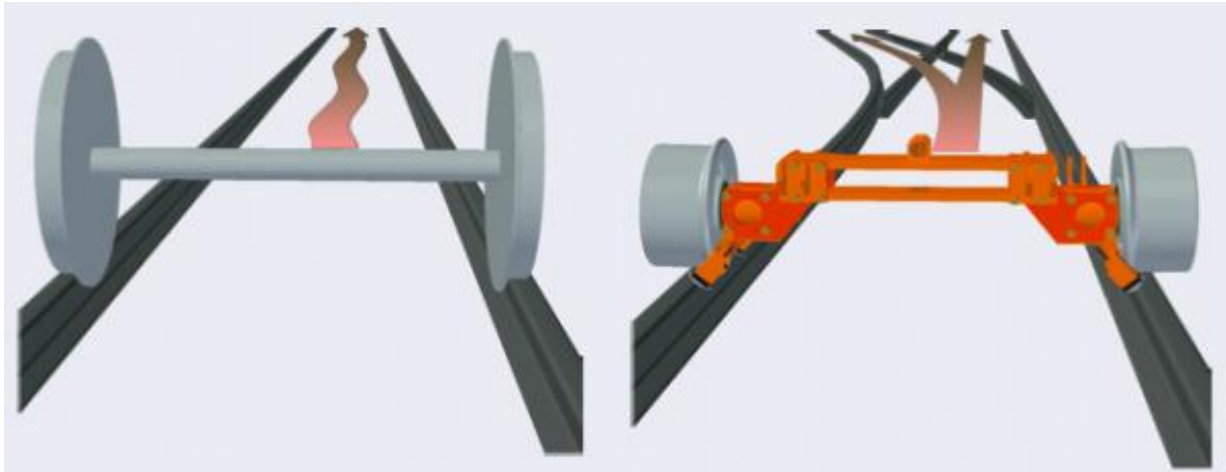
A légpárnás vasutak története

A légpárnának – a hajókkal ellentétben – a síneken már kevesebb siker jutott ki. Mindössze néhány ígéretes, de sikertelen vagy leállított kísérletről, illetve egy darab kereskedelmi alkalmazásról tudni. Ugyan a légpárnás vonatok egyszerűbb kivitelűek voltak a szintén kerék nélküli technológián alapuló magleveknél, nagy fogyasztásuk, és zajos működésük, illetve egyéb, nem a hajtás hibáira visszavezethető múltbéli események hatására teljesen kiszorultak a kötöttpályás közlekedés területéről.

Az előzmények: a „hunting oscillation” jelenség

A 60-as évekre a hagyományos (kerekes) vasúti vontatás kisebb válságba került. Ekkorra a leggyorsabb személyszállító vonatok már akár 220-240 km/h sebességgel is közlekedtek, ekkora tempónál pedig futásukkal kapcsolatban felmerült egy nagy probléma, ami miatt egyébként a szakértők egy csoportja úgy gondolta, elérkeztek a technológia határaihoz. Ez a probléma az ún. terelőrezgés (az angolban „hunting oscillation”-nek, azaz tükörfordításban vadászórezgésnek hívták, mivel a jelenség lényege, hogy a rezgő test az egyensúlyra „vadá-

szik”). A terelőrezgések akkor alakulnak ki, amikor a futás során kialakuló rezgések által keltett erők megközelítik, ill. meghaladják a kerék tapadásából eredő erő nagyságát. Ez egy kritikus sebesség felett következik be, ennél nagyobb sebességeknél a rezgések az utasok számára már kényelmetlenné válnak, tönkretelhetik a pályát és a futóművet, végső esetben pedig a vonat kisiklását is okozhatják. Az autókat, és egyéb járműveket azért nem sújtja a jelenség, mert – lévén hogy a kerekek eltérő fordulatszámú járását engedélyező differenciálművekkel, és gumiköpenyekkel vannak felszerelve – a rezgések nem alakulnak ki.



A terelőrezgés problémája (balra) és az egyik lehetséges megoldás: kisméretű elfordulást engedélyező, önbeálló kormánymű vonatokon (jobbra)

Félve attól, hogy a kerekes vasúti közlekedés végét vizionáló szakértőknek esetleg igazuk lesz, a 60-as években több vasúttársaság is kiemelt figyelmet kezdett fordítani a kerék nélküli – légpárnás és maglev – vonatok felé. Ebben az időben több kísérleti típus is készült, de mivel a terelőrezgések problémájára hamarosan sikerült megoldás találni – edzett acél kerekek és fejlettebb futóművek –, ezek a kísérletek feleslegessé váltak, és abba is maradtak. A kor néhány érdekes példányából mutatunk be most néhányat.

A kevés légpárnás vonat között is voltak alapvető szerkezeti különbségek. A járművek egyik csoportja rendelkezett fedélzeti meghajtó erőforrással, egy másik része csak az emeléshez szükséges motort szállította magával, mozgatásuk drótkötélvontatással történt, néhány helyen pedig emelőmotorok nem voltak a fedélzeten, mert a lebegtető egységek a pályába voltak beépítve. A vonatok meghajtására szolgáló motorok is széles palettán mozogtak, dugattyús motor, gázturbina, sugárhajtómű, hagyományos és lineáris motor is teljesített szolgálatot a vasúti légpárnásokon.

A Tracked Hovercraft: maglev és légpárnás vonat egyben

A Tracked Hovercraft – amelyet már a magleveknél megismerhettünk – legalább akkora mérföldkőnek számított a légpárnások között is. Az eredményeket sajnos ismerjük, a problémák sorozatával küzdő, és egyre nagyobb költségeket jelentő próbálkozást – miután a Brit Vasutak a terelőrezgés-probléma megoldása után már nem volt érdekelt a drága, kiforratlan, kerék nélküli vonatok kifejlesztésében – a 70-es években leállították, helyette a hagyományos pályákon is közlekedni képes APT vonatokat helyezték üzembe. A TH mégsem tekinthető teljes kudarcnak; a meghajtásra lineáris villanymotort használó vonat fejlesztési

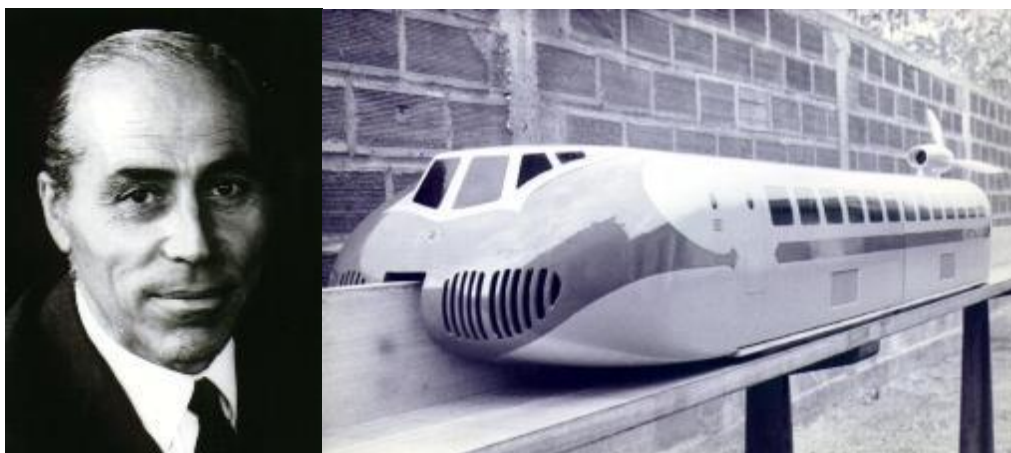
eredményei a mai modern mágnesvasutak elterjedésében kiemelt szerepet játszottak.



A Tracked Hovercraft (balra) és a helyette megvalósuló InterCity APT vonat (jobbra)

A jövő hírnökei: a francia Aerotrain-ek

A légpárnás vasúti járművek körében a másik legjelentősebb vonatok a Tracked Hovercraft-tal egyidőben, Franciaországban épített Aérotrain-ek voltak. A projektet 1965-ben kezdték meg Jean Bertin vasútmérnök vezetésével. Akkor még nem volt eldöntött, hogy a kerék nélküli vasutak milyen formában terjednek el, a légpárnás változatok mellett pedig számos előny szólt, többek között a maglev-ekhez képest egyszerű felépítés, és az akkor még nagyon olcsó olaj is. Az Aérotrain számára több, magasvasutakhoz hasonló, „T” keresztmet-szetű tesztpályát is építettek, de azok szerkezetükön kívül semmiben nem hasonlítottak a hagyományos sínpályákhoz, lévén, hogy az alumínium pályalemezre sima aszfaltborítás került. Az Aérotrain egyébként nem egy darab kocsi, hanem az egész légpárnás tervezet összefoglaló neve volt; keretében 4 kísérleti jármű, és 4 nagysebességű tesztpálya is épült. Jean Bertin már két évvel a projekt kezdete előtt, 1963-ban bemutatta a francia vasutaknak 1:12 méretarányú, 1,4 méter hosszú, működőképes légpárnás modelljét. A jövőbemutató elkép-zelés elnyerte a vasúttársaság tetszését, ezért Bertin-t tették meg az Aérotrain felelős igazga-tójának.



Jean Bertin (balra) és makettje (jobbra)

1965-ben elkészült az 1:2 méretarányú Aérotrain 01, amelyet kezdetben egy változtatható állásszögű, háromtollú propellerekkel felszerelt, 260 lóerős repülőgép-csillagmotor hajtott, kiegészítve 2 darab 50 lóerős, az emeléshez szükséges levegőt szolgáltató kompresszorral. Később a dugattyús motort egy kisméretű Turboméca Marboré típusú, 3,4 kN tolóerőt szolgáltató kompakt sugárhajtóműre cserélték. A gázturbina fogyasztása elérte az óránkénti 850 litert (ez több mint kétszer annyi, mint egy 2000 lóerős dízelmozdonyé), de ez az olajválság előtti, szinte ingyen kínált üzemanyagok korában nem volt probléma, és a korabeli gőzmozdonyokhoz képest, valamint a várható nagy sebesség ismeretében kifejezetten jó érték volt. Noha a 01-es kocsi csak egy modellnek épült, 4 embert tudott magával vinni. A projektnek helyet adó, 6,7 km hosszú pálya 1966-ban, Párizstól délre épült meg, itt az Aérotrain 01-es modell 200 km/h sebességet is elért. Az első Aérotrain-t még ebben az évben több módosításnak vetették alá, amiknek köszönhetően tovább nőtt a teljesítménye. 1966 karácsonyán a gépet egy 1700 lóerős rakéta-hajtóművel (!!!) szerelték fel, amivel a 01-es – mintegy karácsonyi ajándékként – 303 km/h-ra gyorsult fel. 1967-ben a veszélyes rakétát egy sima jet-hajtóműre cserélték vissza, ezzel pedig már 345 km/h-t értek el! Az ígéretes eredmények hatására még ebben az évben hozzá is láttak a következő példány kifejlesztéséhez.



Az Aerotrain 01 és a tesztpálya

A 01 továbbfejlesztéseként elkészült 02-es még szintén kicsinyített modell volt, két embernek jutott benne hely, 13 kN tolóerőt szolgáltató Pratt & Whitney JT12-es sugárhajtóműve 300 km/h körüli sebességre tudta felgyorsítani. 1969 elején, kísérletképpen erre a vonatra is szereltek rakétát, ezzel pedig az addig soha nem látott 422 km/h-t is megfutotta a csillogó gép. Már akkor látszott, hogy a technológia adta lehetőségek túlnövik a rövid próbapályát, ezért még abban az évben el is készültek a jóval hosszabb, 18 kilométeres második létesítménnyel, ami Orléans városától délre épült meg, 400 km/h tervezési sebességgel. A 02-es vonatot egyébként a „parkoláshoz” kicsi gumikerekekkel is ellátták.



Az Aerotrain 02 sugárhajtóművel (balra) és rakétával (jobbra)

Az első valódi teszt példány az Aérotrain S44 nevet kapta. A kocsit már saját utastérrel rendelkezett, ezzel tervezték a jövőbeli Párizs elővárosi forgalmát lebonyolítani. Nevét onnan kapta, hogy 44 utasnak volt benne hely, az emelést egy lineáris villanymotor, a meghajtást pedig egy Merlin-Gérin gázturbina látta el. Az S44-es egy harmadik, mindössze 3 kilométeres teszt pályán közlekedett, amelyen 170 km/h-t volt képes elérni.



Az Aerotrain S44 eredeti állapotában és sajnálatos tüzesete után

A második (nem modell) kocsit, a 80 üléses Aérotrain 180-at 1969 nyarán mutatták be, a tesztek az év szeptemberében kezdődtek el. Eredetileg a gépet a két darab, egyenként 1600 lóerős Turboméca Turmo III gázturbina által hajtott héttollú, változtatható állásszögű, burkolt turbólégcsavar hajtotta, és egy 900 lóerős Turmastazou egység működtette a 6 emelő, és 6 irányító ventilátort. Az 180-as hátrafelé is tudott haladni, ilyenkor a légcsavar állásszögét negatívba állították, sőt lassítani is így lehetett, a vészfékezést pedig a pálya közepén

lévő sínzálra szoruló fékpofákkal oldották meg. A gázturbinák nagyon hangosak voltak; az I80-as zajszintje 70 méteres távolságból 95 dB volt, a fedélzetén pedig nem lehetett fülvédő nélkül tartózkodni. 1974-ben a főhajtóművet egy modernebb és halkabb Pratt & Whitney JT8-as turbóventilátoros egységre cserélték, ezzel az Aérotrain I80 HV (HV – Haute Vitesse, azaz nagy sebességű) 1974. március 5-én 430,4 km/h-val felállította a légpárnás járművek máig tartó sebességrekordját.



Aérotrain I-80 légsavarral (balra) és az átalakított HV-változat sugárhajtóművel 1974-ben

1974-ben a sikeres tesztek hatására több jövőbeli vonal építése is körvonalazódni látszott. A Párizs Orly és Roissy légikikötőire kivezető elővárosi gyorsvasutakat már légpárnás-ként tervezték megépíteni, illetve két másik HÉV-vonal is tervbe volt véve. Sajnos azonban a már sokszor mumusként említett 1973-as olajválság itt is közbeszólt. A hatalmas fogyasztású gázturbinás gépeket a dráguló üzemanyagok miatt nem lehetett volna gazdaságosan üzemeltetni, ezért 1974 júliusában az összes ilyen tervet leállították. Az országban az olajválság hatására elterjedt nagyteljesítményű atomerőművek viszont olcsó árammal látták el a rohamtempóban kiépülő villamosított vasútvonalakat, és a TGV vonatok első példányai is ekkor kezdték járni a síneket. A további törekvéseket az 1975-ben bejelentett LGV-vasúthálózat (LGV – Ligne Grande Vitesse – nagysebességű vasútvonal), és Jean Bertin 1975. december 21-én bekövetkezett halála teljesen megghiúsította, és egyben az Aérotrain-program végét is jelentette. Az eredeti, 6,7 kilométeres pályát később a terjeszkedő kertvárosok miatt – egy kis szakasz kivételével – elbontották, a másik két pálya maradványait is lassan visszahódítja a természet. Az S44-es által használt 3 km-es rövid tesztpályát 2009-ben gyalogjárdává alakították, a nagysebességű, 18 km-es komplexum pedig szintén létezik napjainkban is. A tesztjárművek közül ma csak a 01-es és 02-es modellek vannak meg; az S44-es kocsit 1991 júliusában, az I80-as 1992 márciusában semmisült meg, tragikus egybeesésként mindkettő egy-egy tűzvész során égett ki teljesen. 2004-ben a korábban az S44-esek által használt gometz-i 3 km-es tesztpálya helyén a projektnek emléket állító plakettet avattak fel.

Az Aérotrain-licenz alapján gyártott amerikai kísérletek

Az Aérotrain licenzét 1974-ben megvette az amerikai Rohr Industries és a colorado-i Pueblo városa mellett szintén épített egy légpárnás tesztpályát. Az UTACV névre hallgató kocsit (Urban Tracked Air-Cushion Vehicle – Városi Kötöttpályás Légpárnás Jármű), az Aérotrain S44-esen alapult, lineáris villanymotoros meghajtást alkalmazott, légpárnás felfüggesztéssel. A projekt költségvetése azonban nem volt elegendő a tesztek elvégzésére, így

Bertin még éppen megélte, hogy 1975 októberében leállítsák az amerikai programot, és a jogok visszaszálljanak a franciákhoz. A rövid, mindössze 2,3 kilométeres tesztpályán a légpárnás prototípus mindössze 230 km/h-t volt képes elérni, ez jelentősen elmaradt a megcélzott 300 mérföldes, azaz 480 km/h-s céltól. Miután a terv megszakadt, az üzemeltető nélkül maradt létesítményt Transportation Technology Center néven hagyományos vasúttá alakították át, és a mai napig mozdonyok tesztelésére használják.



Rohr Industries UTACV

A TACRV sugárhajtású légpárnás

A TACV-program keretében készült egy másik, a Boeing és a Grumman cégek által kifejlesztett, TACRV (Tracked Air-Cushion Research Vehicle) névre keresztelt kocsit, amit szintén gázturbinával és lineáris motorral terveztek használni. A 35 kilométeres Boeing-tesztpálya villamosítása azonban nem történt meg, így a kocsit ehelyett sugárhajtóművekkel szerelték fel, ezekkel viszont csak maximum 145 km/h-val volt képes haladni. A csalódást keltő eredmények miatt a projektet 1972-ben befejezték.



A Boeing és a Grumman együttműködéseként elkészült TACRV gép

Ma is létező, illetve működő légpárnás vasutak

A sok félbehagyott, leállított, sikertelen, vagy feleslegessé vált kísérlet ellenére a légpárnás hajtásnak léteztek, és léteznek kereskedelmi adaptációi. A néhány ismert alkalmazás közül az egyiket a közelmúltban állították le, egy másik – reptéri transzfert lebonyolító rövid vasút – ma is üzemel. A két vasút ugyanazokat a vagon típusokat használja, elsődleges céljuk az utasok gyors, hatékony, rövid utakon történő szállítása, ezzel tovább erősítik azt a feltevést, hogy a légpárnás vasutaknak – ha meg is valósultak volna – inkább a városon-, vagy még inkább nagyobb épületeken belüli személyszállításban lehetett volna nagyobb sikerük.

Az egyik első ilyen létesítmény az amerikai Duke Orvosi egyetem egészségügyi központjának légpárnás lebegtetésű, és mágneses meghajtású „vízszintes liftje” volt. A rendszert 1979-ben helyezték üzembe, a mintegy 400 méteres, egy rövid alagutat is tartalmazó pályán három darab, a világhírű Otis lift- és mozgólépcsőgyár kocsijai közlekedtek. A pályát közel 30 évig használták, aztán 2008-ban a kórház kibővítése miatt egy részét elbontották, majd 2009-ben a maradék is erre a sorsra jutott, a kocsikat pedig eladták. Ugyanilyen légpárnás, de mágnesek helyett drótkötél-vontatású szerkezet működik a los angeles-i Getty Szanatórium-ban 1997 óta, és a floridai Tampa városának kikötőjében 1999-ig működő Harbour Island People Mover-én is.



A Duke Egyetemen 2009-ig működő légpárnás személyszállító (balra fent), a los angeles-i Getty szanatórium szállítóeszköze (jobbra fent) és a Tampa városában 1999-ig üzemelő drótkötél-vontatású, légpárna-lebegtetésű Harbour Island People Mover (lent)



Az Otis Hovair típusú légpárnás „villamosai” üzemelnek az alabama-i Huntsville kórházában is. Az 580 méteres pályán szintén 3 darab 38 személyt, vagy egy kórházi ágyat befogadni képes egység működik drótkötél-vontatással. A rendszer naponta 2200 embert képes szállítani.

Érdekes megoldás az ausztriai Serfaus síkőzpont 1985 óta működő légpárnás felvonója, mivel a többivel ellentétben nem a felszínen, hanem alagútban közlekedik. A 1300 méteres légpárnás felfüggesztésű, drótkötél-vontatású vasútnak 3 megállója van, az út 7 percig tart, a szerelvény maximális sebessége 40 km/h. Az egy darab 270 személyes, Otis gyártmányú kocsival üzemelő közlekedési eszközt ingyen igénybe lehet venni.

A mai napig működik, és sikernek örvend Japán egyetlen ilyen vasútja, a narita-i repülőtér ingajárata. A vasút a már többször is említett Otis Hovair típusú, légpárnás kocsikkal, és drótkötél-vontatással üzemel 1992 óta, használata ingyenes. A pálya hossza 280 méter, az emelő légáramlatot szolgáltató erőforrás a szerkezetbe van beépítve, a kocsik 0,2 milliméter vastag légpárnán siklanak.



Az alabamai Huntsville kórházi légpárnás vasútja (balra fent) a Dorfbahn Serfaus (jobbra fent) illetve a narita-i reptéri utasszállító (lent)



A légpárnás vasutak „jövője”

Az 1973-as, és '79-es olajválságok végleg eloszlattak minden olyan elképzelést, amely szerint a nagysebességű vasúti személyszállításban helye lesz a légpárnás vonatoknak. A 60-as években, az olcsó olaj korában, amikor nem számított a fogyasztás, a szakértők nagy része

szerint fényes jövő előtt álltak ezek a gépek. A maglevs akkoriban még sok gyermekbetegséggel küzdöttek; nem tudtak hozzájuk megfelelő erősségű állandó mágneseket gyártani, és a működésük felügyeléséhez elengedhetetlen gyors számítógépek sem léteztek még. A két olajkrízis – aztán a 80-as években a félvezető technikában történt fejlődés – végül mégis az utóbbiak felé billentette a mérleg nyelvét. A költséges tesztek finanszírozó cégek ezután inkább költöttek a csak közvetve az olajárhoz kötött villanyvonatokra, mint a fosszilis üzemanyagokat nagy étvággal égető gázturbinák által hajtott légpárnásokra. A manapság újra a maglevs rekordjait fenyegető hagyományos nagysebességű vasutak pedig csak újabb biztosítékok arra, hogy a légpárnás vonatok soha nem fognak visszatérni a nagy távolságú személyszállítás színpadára. A repülő vonatok ennek ellenére még a közelmúltban is annyira megragadták néhány művész – filmrendezők, forgatókönyv-írók – képzeletét, hogy nem egy tudományos-fantasztikus filmben ilyen vonatot ábrázolnak, mint a jövő közlekedési eszközét.

Felhasznált források és képek

<http://www.hochgeschwindigkeitszuege.com/>

<http://mlap-www.upb.de>

<http://citytransport.info>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Hovercraft>

<http://lfey.perso.libertysurf.fr>

http://en.wikipedia.org/wiki/File:USN_hovercraft.jpg

<http://aernav.free.fr>

<http://www.squidoo.com>

<http://www.luftkissenzug.de>

<http://forum.axishistory.com>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Hovertrain>

<http://atlasobscura.com>

<http://english1.cari.com.my>

<http://www.aermec.com>

<http://vadrouille-debrouille.blogspot.hu>

<http://www.jameshovercraft.co.uk>

<http://www.tampapix.com>

<http://www.knight-gkla.supanet.com>

<http://www.gangloff.com>

<http://www.tsb.gc.ca>

<http://cities.blog.hu>

<http://www.blenheimgang.com>

<http://www.amc.edu.au>

<http://www.all-about-the-home.co.uk>

<http://www.slashfilm.com>

<http://smartson.se>

VIII. FEJEZET

GROUND EFFECT- VONATOK



Bevezetés

A határfelület-, vagy párnahatás jelenségét felhasználó vonatok működésüket tekintve közel állnak a légpárnásokhoz, de ezek a fajta járművek a vasúton – helyesebben a kötöttpályás közlekedés területén – annyira ritkák voltak, hogy esetükben még a többes szám használata is felesleges. Mindössze egyetlen ilyen – Ground Effect vonatról tudunk, alább részletesen megismerhetjük. Maga a határfelület-jelenség azonban elég érdekes ahhoz, hogy külön fejezetet szenteljünk neki.

Mi az a Ground Effect?

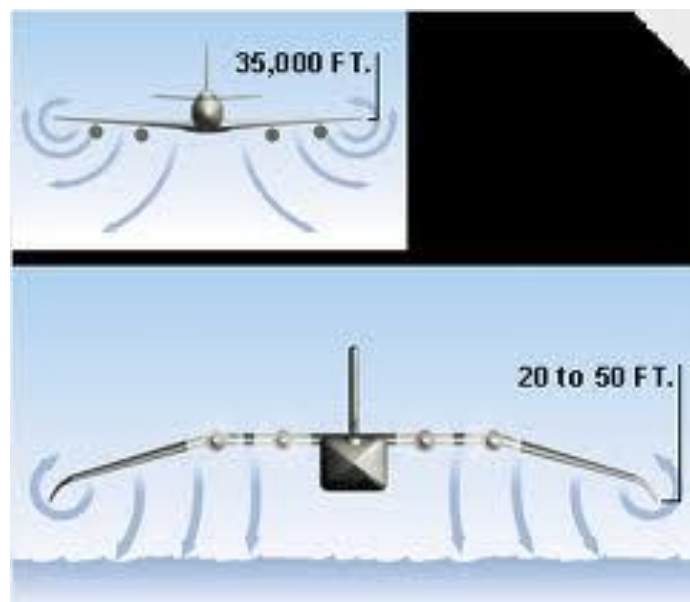
A Ground Effect akkor alakul ki, ha egy szárnyas jármű szárnya és a felszín közé kis magasságban a felszín felett nagy nyomású gázt juttatunk (szorítunk), így az képes aerodinamikai felhajtóerőt létrehozva a levegőben maradni, kizárólag előrehaladás közben. A felszín lehet víz vagy szárazföld, az áramló közeg pedig levegő, vagy felgyorsított (pl. gázturbinából kiáramló) égéstermék. Az ilyen elven működő járművek nem minősülnek repülőgépeknek – noha működésüket tekintve azokra emlékeztetnek –, mivel a szárny és a felszín között létrejövő áramláson keresztül közvetve a felszínre támaszkodnak. A Ground Effect járművek tehát nem képesek álló helyzetben lebegni, mint a légpárnások, és nem tudnak vákuumozott alagutakban sem közlekedni, mint a mágnesvonatok. Mivel azonban a lebegést és a meghajtást is a közegben való előrehaladással valósítják meg, nem kellenek nagyfogyasztású emelőmotorok vagy mágnesek, amit viszont az említett két hajtás megkövetel. A statikus lebegésre való képesség hiánya ellenben akkora hátránynak bizonyult a vasút- és egyéb szárazföldi szállítóeszközök területén, hogy a hajtás jelentősége ezen területeken szinte említésre sem méltó. Mivel azonban az írás a ritka vasúti megoldásokkal foglalkozik, ebben a fejezetben a párnahatás vasúti alkalmazásának kurta történetéről lesz szó. Először azonban nézzük meg, mi is pontosan a Ground Effect!



Balra: A sirály is felhasználja a párnahatást, amikor a vízfelszín közelében repül. Jobbra: A pókerkártya a Ground Effect miatt tud olyan messze repülni az asztalon

A Ground Effect, légpárna és a hagyományos repülőgépek közti különbségek – az ekranoplánok

Egy megfogalmazás szerint a párnahatást használó járművek „félúton vannak” a légpárnások és a normál repülőgépek között. Ez annyiban pontatlan, hogy – noha ezek a gépek mindkettőre hasonlítanak valamiben – működésük lényege különbözik azokétól. A légpárnás járművek külön lebegtető-egységet használnak, míg a határfelületesek a sebesség során kialakuló jelenséget kihasználva, emelőszárnyak segítségével emelkednek fel. Ez a képesség a repülőgépekre emlékeztet, ám a GE-járművek emelőszárnyainak profilja eltér a repülőgépeken alkalmazottakétól; utóbbi esetben a szárnykialakítás olyan, hogy nagyobb sebességnél csak a teherhordó képesség növekszik, a jármű nem fog emelkedni a talajtól. Megjegyzendő azonban, hogy a repülőgépek a leszállás-felszállás folyamatához szintén igénybeveszik a párnahatás jelenségét, mert az kis (150 méter alatti) magasságokon jelentős felhajtóerőt képes szolgáltatni. Mivel a párnahatás-járművek szárnyfesztségét a repülőgépekénél jóval kisebb (a gép hosszának fele-harmada, míg egy repülőé ugyanakkora vagy nagyobb is lehet) ezért jellemzően ez a 150 méter alatti szint a GE-járművek „vadászterülete”, noha a gyakorlatban ezek a gépek csak néhány méterrel emelkednek a felszín fölé.



A légáramlás különbsége a földfelszín közeli-, és a normál repülés között

Az ilyen határfelület-repülőgépek, az – ún. ekranoplánok – elemelkedéséhez nem szükséges okvetlenül külön hajtómotor, de egy részüknél kétfelé osztják a hajtóműveket; az egyik – jellemzően a nagyobb – csoport csak a haladáshoz, a másik pedig a hajtás mellett az emelkedés elősegítéséhez is termel tolóerőt. Ezek a hajtóművek (legtöbbször gázturbinás sugárhajtóművek) általában a jármű alján helyezkednek el úgy, hogy a fúvókájukból kiáramló, nagysebességű gázszugár az emelőszárnyakra érkezik, így az ún. torlónyomás (ram air) segítségével szinte álló helyzetben is elegendő erőt tudnak kifejteni a lebegéshez. Az ilyen járművek ezen kívül átmenetet képeznek a légpárnás hajók és a repülőgépek között is, mivel a levegőben való haladáshoz csak merevszárny segítségével képesek. Ettől függetlenül a Nemzetközi Tengerészeti Szervezet (International Maritime Organization, IMO) szerint ezek a járművek hajóknak minősülnek. Az ekranoplánoknak 3 alcsoportja van: az első csoport tagjai

csak a párnahatás segítségével, alacsonyan tudnak repülni, a másodikba azok tartoznak, amelyek rövid távokra képesek 150 méter fölé emelkedni, a harmadik csoportot pedig azok a gépek alkotják, amelyek alacsonyan repülve ekranoplánként működnek, azonban tudnak hagyományos repülőgépként, nagy magasságban is közlekedni. A párnahatás gépekhez hasonló elvet követ a szárnyashajó, illetve a katamarán is, azonban ezek sebessége alacsonyabb – mivel vízfelszíni járművek – gyakorlatilag mindkét vízijármű nagy sebességű hajó.



Balra: Bavar-2 repülőcsónak repülés közben. Jobbra: Szovjet Alexejev A-90 "Orlyonok" ("Sasocska") az egyik legsikeresebb ekranoplán. A gép farkán elhelyezett turbólégcsavaron kívül két gázturbinás sugárhajtómű szolgáltatja a hajtást, összteljesítményük kb. 15 000 LE volt

Az elmúlt 30-40 évben sok változata épült meg, katonai és polgári célokra egyaránt, azonban mégsem vált széleskörűen elterjedté; az ilyen gépek ugyanis a hajók és repülőgépek előnyei mellett hátrányaikat is egyesítik, így sem teljes értékű hajóként, sem repülőgépként nem lehet őket alkalmazni. A jövőben ez másképp lesz; a repülőgépek egy új csoportja, az ún. ULTRA-óriásgépek (ULTRA – Ultra Large TRansport Aircraft – Ultranagy szállítórepülő) a mai leghatalmasabb repülőgépeknél is 4-5-ször nagyobbak lesznek, miközben akár 10-szer annyi terhet is képesek lesznek elvinni – mivel a párnahatásból eredő teherhordó képesség a felhajtóerőnél jóval nagyobb lehet – igaz, valamivel kisebb sebességgel. Az ULTRA-k tehát egy kisebb hajó teherbírásával és egy lassabb tehergép sebességével rendelkeznek, ezzel az áruszállítás egy új formáját – sokat és gyorsan – tudják majd megvalósítani az évtized végére. A legnagyobb tervezőirodák már kész tervekkel rendelkeznek, a jövő pedig majd eldönti, mi valósul meg ezekből a szerkezetekből.

A jelenséget – hogy a repülőgépek leszálláskor alacsonyabb motorteljesítménnyel, azaz nagyobb hatásfokkal üzemelhetnek – már a korai repülőgép-pilóták is észrevették. Az első, Ground Effect-et említő tudományos munka 1934-ben jelent meg. Kezdetben a felfedezést csupán a landoló és felszálló repülőgépek fogyasztásának csökkentésére használták, nem sokkal később jött az ötlet, hogy egy olyan repülőt kellene kifejleszteni, ami tartósan ebben a zónában repül. A gép ugyan a sűrű légrétegekben elméletileg többet kellene, hogy fogyasszon, de mivel a párnahatás miatt súlyának egy részét maga a felszín veszi át (a gépet megemelő örvények hozzáérnek a talajhoz, vagy a vízfelülethez), a gyakorlatban kisebb teljesítménnyel lehet ugyanakkora gépeket közlekedtetni. Mivel nem kell nagy tömegeket nagyon magasra emelni, ezek a repülőek jóval nagyobbak is lehetnek, bár erre ebben az időben még nem gondoltak, és a háború előtt magával a lehetőséggel sem sokat foglalkoztak. Az 50-es évek végén, és a 60-as évek elején, a repülőgépek fejlődésével újra előkerült a téma, és

szovjetek, mind az amerikaiak készítettek ígéretes – ám végül nem sok eredményt elérő – prototípusokat, illetve kisebb ekranoplánokat.

Néhány érdekesebb ekranoplán

Nyikita Hruscsov fontosnak tartotta, hogy nemcsak az űrversenyben, hanem a közlekedésben és a haditechnikában is az amerikaiak előtt járjanak, ezért megbízta Rostislav Alexejevet, az ország egyik legnagyobb repülőmérnökét az első ekranoplán megépítésével. Alexejev irányítása alatt a repüléstörténet leghatalmasabb, és legfurább repülőgépei készültek el. A leghíresebb ezek közül az amerikai hírszerzés által csak „Caspian Sea Monster”-nek, azaz Kaszpi-tengeri Szörnynek nevezett vízi repülőgép, ami a mai napig egyike a legnagyobb repülő tárgyaknak. A mutáns repülőgépre hasonlító szerkezet 90 méteres hosszával, és 550 tonnás tömegével nagyobb volt, mint a jelenlegi csúcstartó Antonov An-225-ös tehergép. A félelmetes kinézetű szerkezet rövid szárnyain 8 darab (!!!) sugárhajtómű helyezkedett el, míg a gép farkán további 2 gázturbina a gyorsításhoz szükséges plusz tolóerőt szolgáltatotta. A Casp-A – ahogy a CIA-nél nevezték – maximális sebessége 3 méteres vízfelszín feletti magasságban 300 csomó (560 km/h) volt, de 20 méteren 400 csomós, azaz 720 km/h-s (!!!) sebességgel is tudott repülni!!! Nem lehetett mindennapi látvány a hatalmas, szárny nélküli repülő, ahogy 10 turbinájával óriási vízfüggönyt verve ekkora sebességgel száguldott a víz felszínén... A gépek egyébként akár 3,5 méteres hullámváz esetén is képesek voltak repülni. A prototípusokból 8 készült, ebből az egyik 1980 decemberében felszállás közben a pilóta hibája miatt visszaesett a vízre, és darabjaira hullott. Néhány kísérleti gép maradványai a mai napig megtalálhatók.



A félelmetes kinézetű Caspian Sea Monster

Az 1987-ben elkészült Lun-osztályú ekranoplán valamivel ugyan kisebb volt, mint a Casp-A, de 73 méteres hosszával, 290 tonnás tömegével még mindig nagyobb, mint a mai legnagyobb utasszállító gépek, a Boeing 747-8, és az Airbus A380. A Szovjetunió felbomlásáig számos, kisebb méretű vízi repülőgép készült el, azonban ezek instabilitásuk, és magas fogyasztásuk miatt végül nem terjedtek el.



A Lun-osztályú ekranoplán a hátán 6 darab rakétával

Németországban ennél kisebb mértékben, de szintén zajlott a technológia meghonosítása. Nemcsak a projekt, hanem az elkészült példányok is jóval kisebbek voltak az orosz szörnyetegeknél. A csak néhány személy szállítására képes prototípusok (pl. Skimmerfoil Jörg VI, FS-8) nem jutottak túl a tesztelési fázison. Jelenleg a technológiát felhasználó – kereskedelmi forgalomban kapható – gépek száma csekély. A párnahatás-jelenség közlekedésbeli alkalmazásának új löketet adhat a jövőben elkészülő ULTRA-óriásgépek, mint az orosz Berijev Be-2500, és az amerikai Boeing Pelican Ultra óriásgépek.



Felül: Berijev Be-2500 típusú repülő hajó. A mai legnagyobb repülőgépekénél 4-5-ször hatalmasabb, 2500 tonnás monstrum végsebessége ekranoplán-üzemben 445 km/h, normál repülőgépként 720 km/h, meghajtásáról 6 darab Kuznyecov sugárhajtómű gondoskodik. Alul: Boeing Pelican ULTRA repülőcsónak. Hossza 125 m, tömege 1400 tonna



GROUND EFFECT-VONATOK

A repülőgépek között tehát nem aratott nagy sikert a technológia (egyelőre), a vasút területén még kisebb a jelentősége, már ha annak lehet nevezni az eddig megvalósult egyetlen prototípust, és néhány tervet. A Ground Effect vonatok jelentősége abban rejlik, hogy megtartásukhoz nem szükséges külön erőforrás, így felépítésük akár a légpárnás vonatoknál is egyszerűbb lehet. A szintén kerék nélküli megoldással nagy sebességet lehet elérni, azonban rengeteg hátránnyal is szembesülnünk kell. Mivel a vonat gyakorlatilag „repül”, a vezetőnek – akit így helyesebb pilótának nevezni – a repülőgépeket jellemző jelenségekkel – dőlés, bólintás, borulás – kell megbirkóznia, továbbá a stabil kapcsolat hiánya miatt a vonat ki van téve az időjárás viszontagságainak.



Fantáziarajz 1961-ből: A Los Angeles-be tervezett Airail magasvasút, amelynek kocsijait Ground Effect segítségével szerették volna felemelni

Az egyetlen képviselő: a japán Aero-Train kísérleti Ground Effect vonat

Mindez azonban nem akadályozta meg a japán mérnököket abban, hogy kifejlesszék a világ első kötőtpályás, párnahatást felhasználó vonatát. A francia légpárnás vonatokhoz hasonlóan Aero-Train nevet viselő, inkább egy törött szárnyú magánrepülőgépre, mintsem vasúti járműre hasonlító prototípus 2001-ben készült el. A vonat egy „U” keresztmetszetű „betonvályúban” tud haladni. A repülőgéptörzsre emlékeztető utastér külsejére került a két pár szárny, illetve a két előre- és egy hátrafelé néző légcsavar. A szárnyak kialakítása olyan, hogy a törzshöz közelebbi részük vízszintes, és az emelőerőt szolgáltatja, majd nagyjából a fesztáv kétharmadánál egy 90 fokos töréssel függőleges helyzetűvé válik a szárny, mintegy alkalmazkodva a betonpálya belső kialakításához. Az így a betonfal és a függőleges szárnyvég között szintén létrejövő vertikális Ground Effect pedig a jármű irányban tartásáért felelős. A fékezés a légcsavarok állásszögének változtatásával, valamint fékszárnyakkal történik, kis sebességeknél a kocsi segédkerekekre támaszkodik. Az Aero-Train jelenleg 200 km/h-s sebesség elérésére képes, de ezen a jövőben javítani szeretnének. A projektben résztvevők célja egy 335 személyes, 500 km/h sebességű utasszállító vonat létrehozása, a megcélzott dátum pedig 2020.

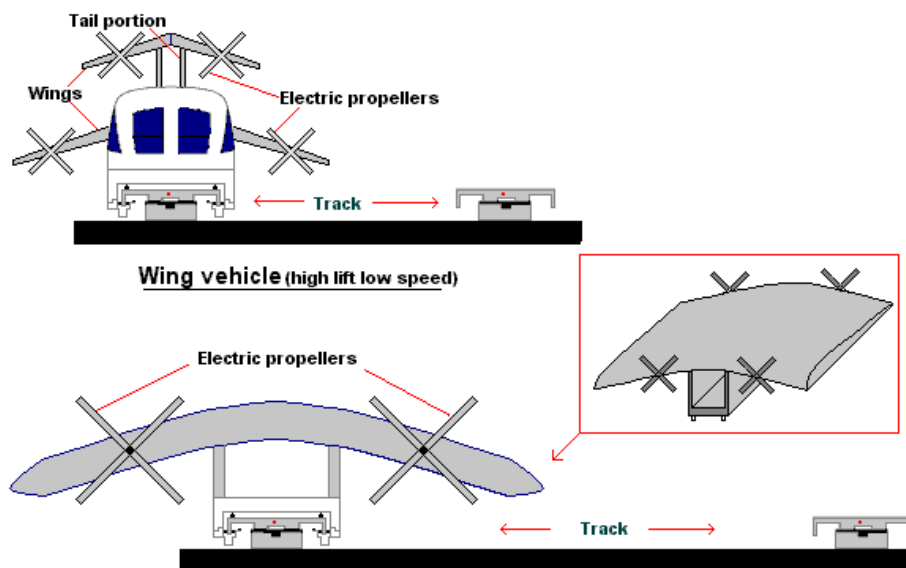


A japán Aero-Train projekt kocsijai: Felül a prototípus, alul balra a 01-es, jobbra a 02-es tesztjármű



Tervek a jövőre

Természetesen tervekből jóval több van, mint konkrét eredményekből. Mivel a GE-jelenség önmagában kevés előnnyel, és sok hátránnyal jár, néhány tervezet más hajtásokkal egyesítve képzelte el a párnahatás vasúti alkalmazásának jövőjét. Az elképzelés szerint egy maglev vonatra nagyfelületű szárnyakat, és elektromos meghajtású légcsavarokat helyeznének, így kis sebességnél a „hagyományos” mágnesvasutakhoz hasonlóan történne a vonat emelése, hogy aztán a tempó emelkedésével a Ground Effect hatás vegye át ezt a szerepet. Nagy hátrány, hogy a rossz aerodinamikájú vonat kedvezőtlenebb hatásfokkal működik, mintha áramvonalas maglev lenne, kiépítéséhez pedig szükséges az éppen bonyolultsága miatt kerülendő mágnespálya.



Mágnesvonat kiegészítő Ground Effect hajtóművel és az Aero-Train vonatok 500 km/h sebességű személyszállító változatának számítógépes rajza. Egy a néhány tervezet közül



A repülőgépek és a vonatok ötvözésének tekinthető egy másik terv, amely szerint a „repülővonat” kötöttpályás „felszállópályán” gyorsulna fel, majd útjának nagy részét ekranoplánként, 20-50 méteres magasságban, nagy sebességgel repülve tenné meg. Ezzel megint az a gond, hogy egyrészt csak vízfelszín, vagy sima talaj fölött valósulhatna meg, ennél nagyobb probléma, hogy maga az elgondolás nem jelent igazi előnyt a hagyományos repülőgépekhez, vagy a mágnesvasutakhoz képest.

Szép álmok

A fentiekből látszik, hogy a Ground Effect jelenség vasúti alkalmazása nagyon valószínűtlen a rengeteg hátrány, és a „vetélytársak” fejlettsége miatt, viszont érdekes próbálkozás, amely a közlekedés más területein esetleg hasznos ismeretekkel szolgálhat, és talán nagyobb sikerre is számíthat.

Felhasznált források és képek

<http://dailyapple.blogspot.hu>

<http://www.aviation-history.com>

<http://www.boeing.com>

<http://ground-effect.com/>

<http://community.us.playstation.com>

<http://spectrum.ieee.org>

<http://www.flickr.com/photos>

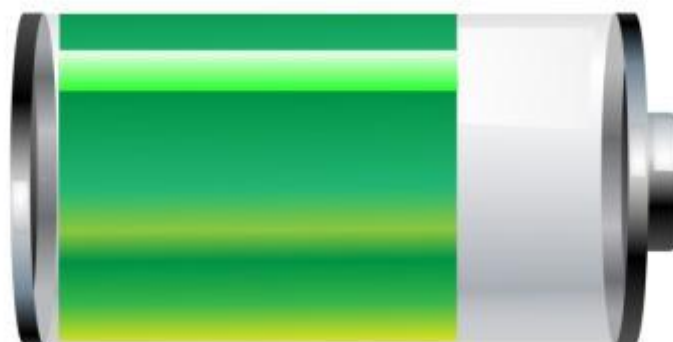
<http://www.autoblog.com>

<http://www.physics-edu.org>

<http://blogs.birminghammail.net>

<http://the-things-with-wings.blogspot.hu>

AKKUMULÁ- TOROS VASÚTI JÁRMŰVEK

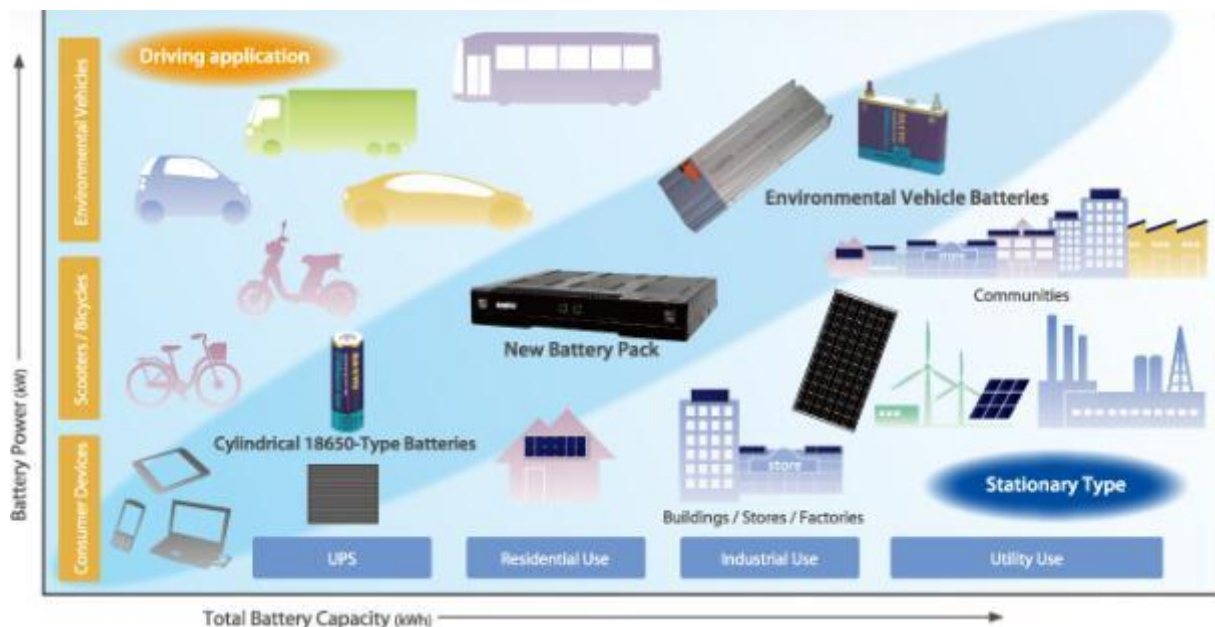


water_jelly_008

AZ AKKUMULÁTOROK

Bevezetés

A gőzturbinák segítségével világítunk, a gázturbinákkal és a légcsavarokkal a levegőben-, a mágnesekkel és a légpárnákkal földön és vízen repülünk, bátran mondhatjuk tehát, hogy bármelyikük nélkül nehéz, ha nem lehetetlenné válna az életünk. Ez halmozottan igaz az ebben a fejezetben bemutatott energiaforrásra: az akkumulátorra. Laptopok, mobiltelefonok, fényképezőgépek, rádiók, gyerekjátékok, autók... csak néhány dolog azok közül, amelyek működése az akkuk nélkül elképzelhetetlen manapság, és akkor még nem is beszéltünk a dízelmozdonyok motorjait elindító, a vasúti járművek világítását, légkondicionálóját és egyéb segédberendezéseit árammal ellátó energiatarolókról. Ez a fejezet a fontos találmány múltját, jelenét, és szó szerint fényes jövőjét mutatja be, külön hangsúlyt fektetve a vasúti vontatás területére.

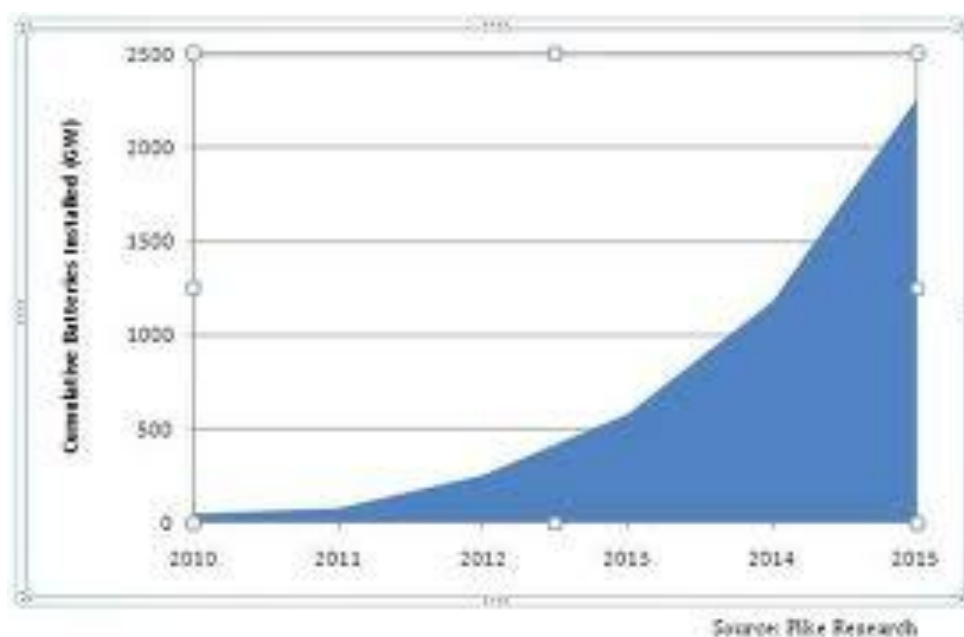


Ennek az – akkumulátorok jövőbeli típusait bemutató – ábrának a vízszintes tengelye a kapacitást, a függőleges pedig a teljesítményt mutatja. Ennek megfelelően a bal alsó sarokban a mindkettőből viszonylag keveset igénylő elektronikus eszközök, a jobb felsőben pedig a nagy teljesítmény- és kapacitás igényű teherautók, villamosok, vonatok állnak. A jobb alsó sarokban a jövőben a szél- és naperőművek által termelt – éppen ezért rendszertelenül érkező – energiát eltároló akkumulátor-erőművek találhatók, ezeket majd csak az akkuk fejlődésével lehet gazdaságosan üzemeltetni.

Hogyan működik az akkumulátor?

Az akkumulátorok – a kondenzátorok, és egyéb, sikertelenebb energiatarolók mellett – napjaink legsikeresebb ilyen eszközei. Előnyüket nem kell ecsetelni; az akkumulátort használó gépek nem igényelnek elektromos hozzávezetést, ezáltal nincsenek vezetékekhez kötve, azaz szabadon mozoghatnak, ez pedig a közlekedés szempontjából felbecsülhetetlen értékkel bír. Annak ellenére, hogy működésük alapjai több mint 200 éve gyakorlatilag változatlanok – kémiai energiát alakítanak át elektromos energiává, anód-katód és elektrolit segítségével – jelenleg az ilyen, ún. galvánelemek helyére – számos hátrányuk miatt – még kereste-

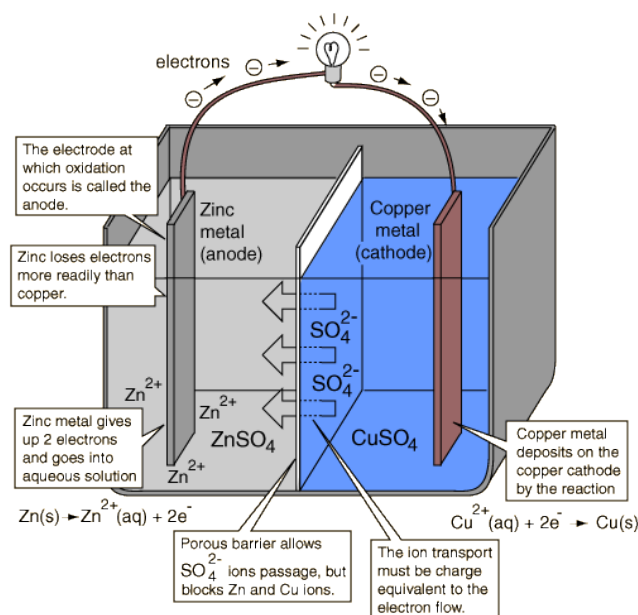
tik a megbízható, és megfizethető megoldás. Ezzel el is érkeztünk a mai elektrokémiai elemek egyik legnagyobb problémájához: a kis energiasűrűséghez. Ugyan az elmúlt évtizedben megjelent lítium-elemek ezen tulajdonsága jóval kedvezőbb a korai ólom-sav akkukénál, nagyságrendekkel elmarad attól az értéktől, aminél ezeknek a telepeknek a széleskörű alkalmazása – például autók, kamionok, mozdonyok üzemanyagtankja helyett – gazdaságossá válna, ezen felül egy sor másik hátránnyal is küzdenek. Az elektromos energiatárolók fejlesztése az olajárak és a népesség növekedésével sok egyéb más mellett a XXI. század legnagyobb kihívásai közé tartozik. Az akkupiactól emiatt a befektetésre leginkább ajánlott üzletágak között van, a jelenleg évi 50 milliárd eurós üzletet jelentő terület forgalma évente kb. 6%-kal növekszik.



Az USA-ban használt akkumulátorok összteljesítménye GW-ban. Látható, hogy az érték egyre nagyobb mértékben növekszik, 3 éve 100 GW körül volt, ma már eléri 300-400 GW-t, 3 év múlva pedig a hatszorosa lehet! Az ok a hordozható elektronikus eszközök, és az elektromos (hibrid) autók elterjedése, valamint a népesség természetes növekedése

Az akkumulátorok elektrokémiai úton hoznak létre elektromos feszültséget, felépítésüket tekintve elektrokémiai ún. voltaikus cellákból, a cellák pedig két fél-cellából és az őket összekötő elektrolitból állnak. Az egyik fél-cella negatív-, a másik pozitív töltésű, ezeket anódnak illetve katódnak nevezzük. Az anód és a katód egymástól eltérő potenciálú, ezért ha ezeket egy anyagáramlást nem-, de elektronáramlást engedélyező „híddal” kötjük össze, az eltérő elektródpotenciálok miatt a két fél cella között elektromos áram keletkezik, amely során a negatív ionokat tartalmazó anódról elektronok vándorolnak át a pozitív töltésű katódra. A folyamat addig tart, amíg a két fél-cella között potenciál-különbség (feszültség) van, ha ez megszűnik, az akkumulátor nem képes tovább áramot szolgáltatni, azaz lemerül. Az akkumulátorok hosszú idő után maguktól is lemerülnek, ezt a jelenséget nevezik önkisülésnek. Fontos, hogy ez a lemerülés lassan menjen végbe (pl. a háztartási elemek évente 10%-ot vesztenek töltöttségükből). A fél-cellák eredeti potenciálja, ún. elektromotoros ereje közti különbség adja meg a cella feszültségét, ami a gyakorlatban használatos hagyományos (alkáli)elemeknél és az autókban is megtalálható ólom-sav akkumulátoroknál 1,2-2 V, a modern

lítium-akkuknál 3 V körüli. Mivel ezek nem nagy értékek, a valóságban az akkumulátorok több cellából állnak, ezeket rendszerint sorba kötik, így az akku feszültségét a cellafeszültségek összege adja.



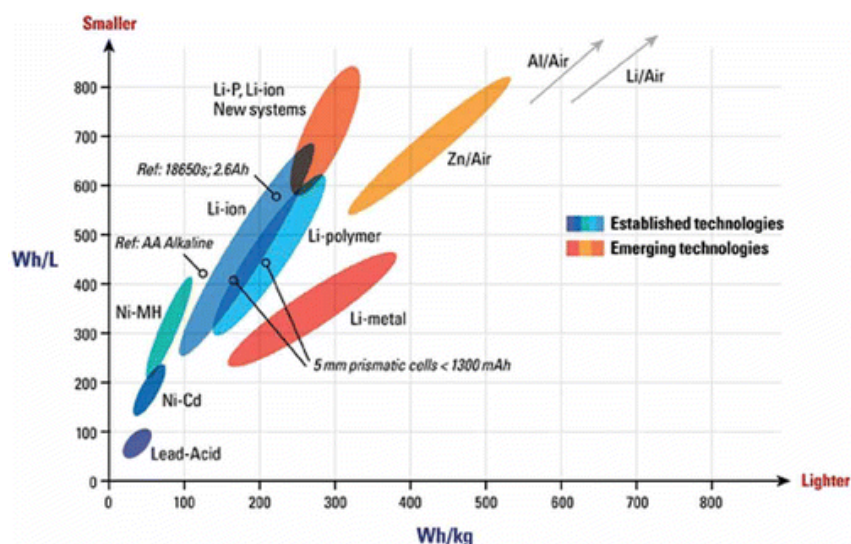
A galvánelemek (a képen egy ún. Daniell-cella réz-cink elektródákkal) működése

Akkumulátortípusok

Az akkumulátorokat sok szempont alapján lehet csoportosítani, de a legfontosabb ezek közül, hogy az adott elemet újra lehet-e tölteni, vagy nem. A nem újratölthető (elsődleges) elemek olyan anyagokkal működnek, amelyek a lemerülés során végleg elhasználódnak, így az ilyen telepeket használat után el kell dobni. Az eldobható elemek olcsóbb anyagokat tartalmaznak, ezért kedvezőbb árfekvésűek, de használat után veszélyes hulladéknak minősülnek, és az ilyen elemek biztonságos begyűjtése, tárolása és újrahasznosítása drága, ezért nagy gondot okoz. Az elmúlt évtizedekben az energiatárolók körében lezajlott fejlődésnek köszönhetően ma már az eladott elemeknek csupán 20-30%-a ilyen, mivel mára az újratölthető (másodlagos) akkumulátorok ára is elfogadható szintre csökkent, és ha azt nézzük, hogy az ilyen típusú akkuk több százszor, vagy ezerszer újratölthetőek, megéri a mindössze 2-3-szor akkora egyszeri kiadás a kívülről egyébként megkülönböztethetetlen, semmilyen különleges elbánást nem igénylő típusokért.

Az elektromos energiatárolóknak több fontos ismérve van, ami alapján el lehet dönteni, hogy egy bizonyos használati területre megfelelnek-e. Ezek közül az egyik legfontosabb az energiasűrűség, ami megadja, hogy egy adott tömegű vagy térfogatú az akkuból mennyi energiát (vagy töltést, az egyikből a másik a cellafeszültség ismeretében kiszámolható) tud eltárolni. A gyakorlati alkalmazás szempontjából talán még lényegesebb a fajlagos ár, ez pedig az egységnyi energiára eső költségeket adja meg. Ez az a terület, amely a legnagyobb fejlesztésre szorul. Noha az akkuk az elmúlt időkben nagy fejlődésen mentek keresztül, energiasűrűségük, és fajlagos költségeik miatt jelenleg még nem igazán alkalmasak nagyteljesítményű gépek energiaellátására. Az alábbi táblázat néhány gyakoribb akkutípus adatait hasonlítja össze a hagyományos üzemanyagokéval.

Néhány akkumulátortípus összehasonlítása fosszilis tüzelőanyagokkal (az árak Magyarországra vonatkoznak)			
Akkumulátor/tüzelőanyag típusa	Energiasűrűség (Wh/dm ³)	Fajlagos ár (€/kWh)	Újratöltés (-)/élettartam (év)
Ólom-sav	60-75	40-100	500-800/3-20
Nikkel-vas (NiFe)	30	125-550	n.a/30-50
Alkáli elemek	250	90	1000/5
Nikkel-metálhidrid (NiMh)	140-300	250	500-1000/n.a.
Nikkel-Kadmium (NiCd)	75-150	140-200	4000</n.a.
Lítium ion (Li-ion)	250-620	280	400-1200/2-3
Lítium-vasfoszfát (LiFePO ₄)	220	700-1400	2000/n.a.
Lítium-polimer (Li-Po)	300	140-250	1000</2-3
Lítium-szulfur (Li-S)	350	n.a	n.a.
Lítium-levegő (Li-air)	1520	n.a	n.a.
Alumínium-levegő (Al-air)	1300-2000	n.a	n.a.
Nano-Titanát	90	n.a.	9000</20<
Vékonyfilm-Lítium (TF-Li)	350-400	n.a.	40 000/n.a.
Benzin	9100	0,16	-
Gázolaj	7300	0,15	-
Bioetanol (E85)	5900	0,17	-
Hidrogén (300 bar)	750	0,43	-
Földgáz (1 bar, 15 °C)	9,5	0,05	-
Kőszén (feketeszen)	6800	0,03	-
Fa (akác)	3600	0,01	-
Hálózati áram (230 V, 50 Hz)	-	0,17	-

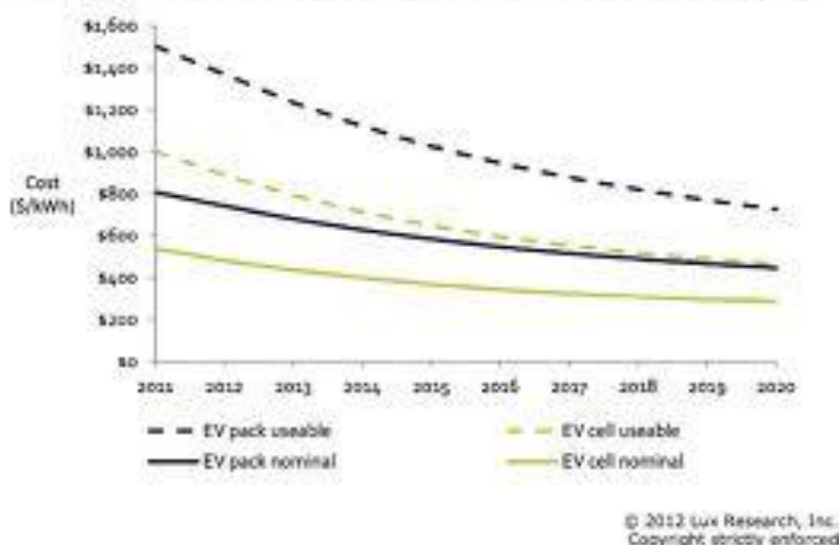


Ebben a nagyon szemléletes diagramban érthetőbben ábrázolják az egyes akkuk fejlettségi szintjét. A vízszintes tengelyen a tömegre- a függőlegesen a térfogatra vetített energiatároló-képesség látható. Minél meredekebb egy „buborék” esésvonala, annál kisebb az sűrűsége, minél inkább a jobb felső sarokhoz közelít, annál nagyobb a kapacitása. A sötétkék színű területek a mindenhol elterjedt, a pirosak a még csak nagyon kezdeti fázisban lévő akkukat mutatják meg. A legfejlettebb Li-air és Al-air elemek nem fértek rá a grafikonra

Az akkumulátorok jelentősége a modern közlekedésben

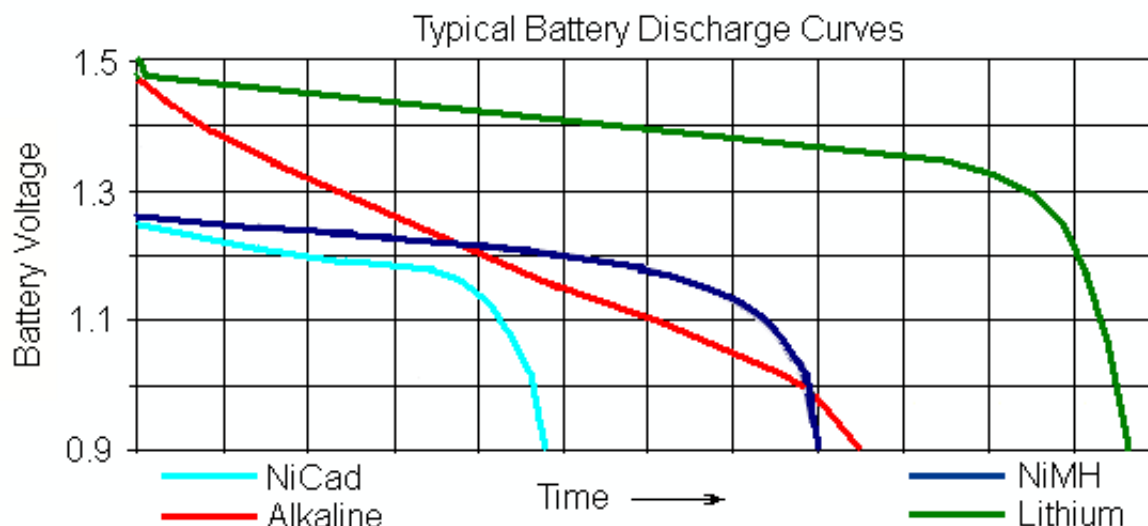
Mint az a táblázatban látható, még a jelenleg legfejlettebbnek számító – egyelőre kísérleti stádiumban lévő – Lítium-levegő akkumulátorok energiasűrűsége is töredéke a ma-napság használatos hagyományos üzemanyagokénak, miközben fajlagos áruk sokszorosa azokénak. Ha csak arra gondolunk, hogy egy átlagos autó 50 literes üzemanyagtankjában kb. 500 kWh energia tárolódik, csak számoljuk végig, mekkora akkumulátor kellene ennek a helyettesítésére, – arról nem is beszélve, hogy ez mennyibe kerülne – az igazán nagy hasznot jelentő kamionok, dízelmozdonyok, hajók esetében pedig jobb, ha bele sem fogunk a számolásba. Az tehát világos, hogy a közlekedésben fő energiaforrásként való alkalmazás még várat magára, azonban a segédüzemek működtetéséhez jelenleg az akkumulátorok jelentik gyakorlatilag az egyetlen megoldást.

Nominal and Useable Costs (\$/kWh) for EV Batteries (NMC/Graphite)



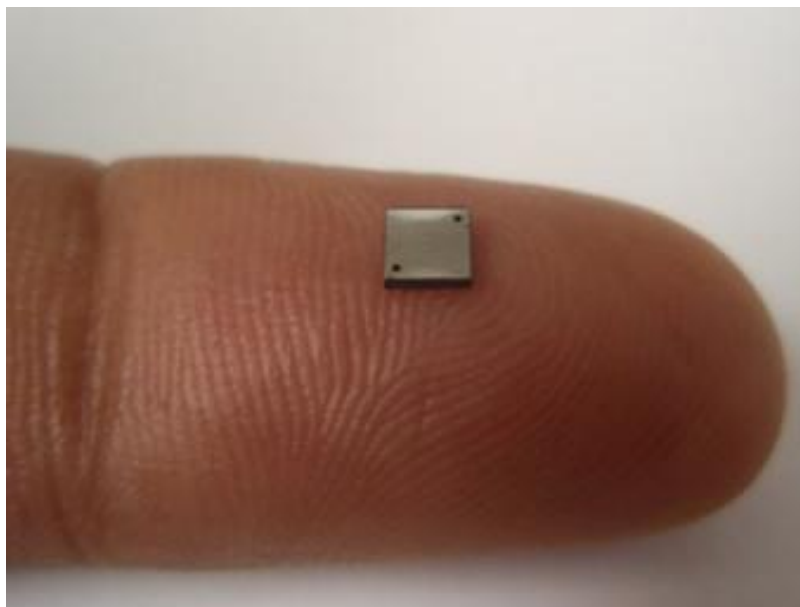
Az akkumulátorból nyerhető energia árának várható alakulása az elkövetkező évtizedben (2020-ig). Szaggatottan van jelölve a végfelhasználói, folyamatossal a gyártás ára. Látható, hogy 20 éven belül előreláthatólag a darabszámok növekedése miatt csökkent az árrés, viszont marad a nagyon magas (800-1000 \$/kWh) fajlagos ár

A táblázatból ugyan nem derül ki, de több más tulajdonsága alapján is vizsgálják az akkumulátorokat, amely alapján megállapítható, hogy milyen feladatkörre alkalmas az adott energiatároló. Ezek közül az egyik a teljesítménysűrűség, ami megadja, hogy egy adott tömegű (vagy térfogatú) akkumulátort mekkora teljesítménnyel lehet terhelni. Teljesen mindegy ugyanis, hogy egy akkumulátor sok energiát képes tárolni, ha nem bírja a nagy terhelést. Fontos még ennek a jellemzőnek az ellenkezője, azaz hogy mekkora töltőáramokat bír elviselni az akku (gyakorlatilag, hogy mennyi idő alatt lehet feltölteni), illetve az önkisülési tényező, ami egy időegységre százalékokban lebontva mondja meg, hogy az adott idő alatt a telep mennyit veszít a töltöttségéből (pl. %/hónap, %/év). Megemlítendő még az akku lemeríthetőségi szintje (mennyire lehet lemeríteni anélkül, hogy károsodna), a hőmérsékleti viszonyai (hogyan változik a töltőkapacitása a hőmérséklettel), illetve újratölthető elemeknél az újratöltési lehetőségek száma, ill. ennek a számnak a változása a különböző viszonyok (hőmérséklet, terhelés) függvényében.



Az egyes akkutípusok önkisülése során bekövetkező feszültségesekeket bemutató diagram

Az akkumulátorok manapság a legkülönbözőbb méretben készülnek. Kezdve legkisebbekkel, a pl. hallókészülékek és egyéb kisméretű elektronikus eszközök ellátását biztosító, kisujjköröm-méretű lapaelemekkel, folytatva a hagyományos, ismert méretű ceruzaelemeken keresztül az autóakkukon át egészen a szerverfarmok, szuperszámítógépek, és egész intézmények vézellátását biztosító, több száz tonnás, egész épületeket elfoglaló óriásakkumulátorokig.



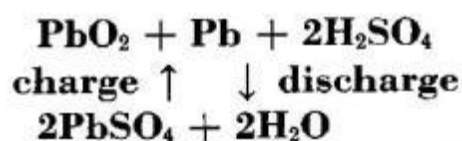
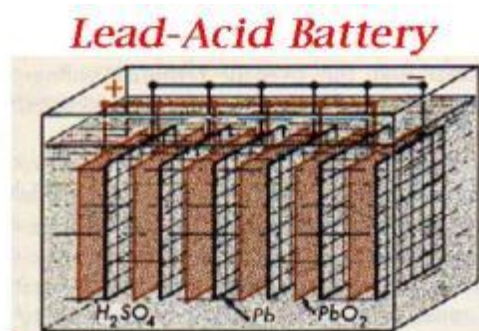
Szélsőséges akkumulátorok: a világ legkisebb telepe (fent) egy Lítium-szén nanoszálakos akku, méretei 3 x 3 x 0,5 mm. A jövőben nanorobotok működtetésére akarják használni, egyelőre még csak párszor tölthető újra. Túldalt fent: A 2012-ben üzembe helyezett "The Behemoth" (Behemót), Kína. A 140 MW-os szélfarmhoz tartozó, futballpálya nagyságú akkumulátor nem kevesebb, mint 36 MWh energiát képes tárolni, amellyel egy 60 ezer lakosú várost egy órán keresztül el tud látni árammal szükség esetén



Az ólom-sav akkumulátorok

A végére maradt az akkuk működési elv szerinti csoportosítása, mely alapján szintén többféle típust különböztetünk meg. A jelenleg legnagyobb számban gyártott, a közlekedésben használt klasszikus ólom-sav akkumulátorok egyben a legegyszerűbb ilyen eszközök is napjainkban. Működésük hűen követi a fentebb már részletesen leírt galvánelemek elvét, a bennük található ólom anód és ólom-oxid katód kénsavoldatba merül, a kisülés során ólom-szulfáttá (PbSO_4) oxidálódnak, miközben a kénsav vízzé redukálódik. Az ólomakkuk annak köszönhetik népszerűségüket, hogy a jelenleg forgalmazott típusok közül csak ezek bírják ki az autók és egyéb járművek motorjainak indításakor fellépő rendszeres, nagy – több száz amperes – terhelőáramokat, igénytelenek, energiatároló-képességük a változásokra nem érzékeny, ezenfelül könnyen előállíthatók, tehát olcsók. Az akkuk hátránya nagy tömegük (ami az autóiparban nem akkora probléma, viszont más területeken megakadályozta elterjedésüket), az, hogy veszélyes anyagokat tartalmaznak, és kis energiasűrűségük. Az ólom-sav telepek túltöltésekor a kénsavban található víz elkezd felbomlani hidrogénné és oxigénné, ami nagyon veszélyes, mert szélsőséges esetben az akku felrobbanását is okozhatja, továbbá ha a borítás megsérül, a mérgező kénsav el is szivároghat. Ennek megakadályozására fejlesztették ki az ún. félszilárd-, azaz zselés akkumulátorokat, amelyeknél a kénsavat kováfölddel itatják fel, és az így keletkezett, fagyott zsírra hasonlító elegy nem tud elfolyni, illetve hidrogén-kibocsátása sincs. A hagyományos, autókban is használt akkuk cellafeszültsége jellemzően 2,1 V, ezekből személyautóknál 6-ot (régebben 3-at), teherautóknál 12-t – mozdonyoknál akár 36-ot is – kötnek sorba így létrehozva az ezeknél a járműveknél szokásos 12 és 24 (mozdonyoknál 60-72) voltos rendszereket. A személyautók által használt 12 voltosok 30-120 amperórányi töltést ($1 \text{ Ah}=3600 \text{ C}$, $1 \text{ mAh}=3,6 \text{ C}$) tárolnak, ez az érték kamionoknál 150-250, a nagyteljesítményű dízelmozdonyoknál pedig akár 500 Ah is lehet (bár ezt gyakran több akku párhuzamos kapcsolásával valósítják meg). Az autózás hajnala óta változatlan alapelven működő savas ólomakkumulátorok iránt hatalmas a kereslet. Gyártásukhoz évente csaknem 4 millió tonna (!!!) ólmot használnak fel, az elhasznált akkuk tömege évi 2 millió tonnát tesz ki. Ennek újrahasznosításával a kezdeti időkben nem sokat törődtek, azonban a környezetvédelmi szempontok előretörésének – és nem utolsósorban a nehézfémek áremelkedésének – hatására ma már az ilyen telepek 97%-át újrahasznosítják. Az ólom-sav akkuk nem képesek elég töltést tárolni nagyteljesítményű gépek meghajtásához, de kicsi, könnyű járművek (golf-

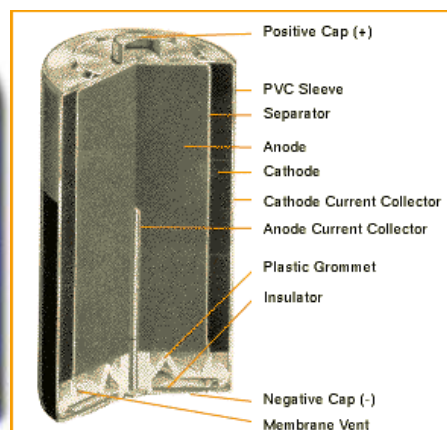
autók, kisebb csomagszállító kocsik, elektromos kerékpárok) számára még mindig egyszerű és olcsó megoldást jelentenek.



Egy 12 voltos, 70 Ah-s ólom-sav akkumulátor alsó-középkategóriás személyautókhoz (balra) és az akku felépítése, valamint a működését jellemző kémiai reakciók (jobbra)

Alkáli elemek

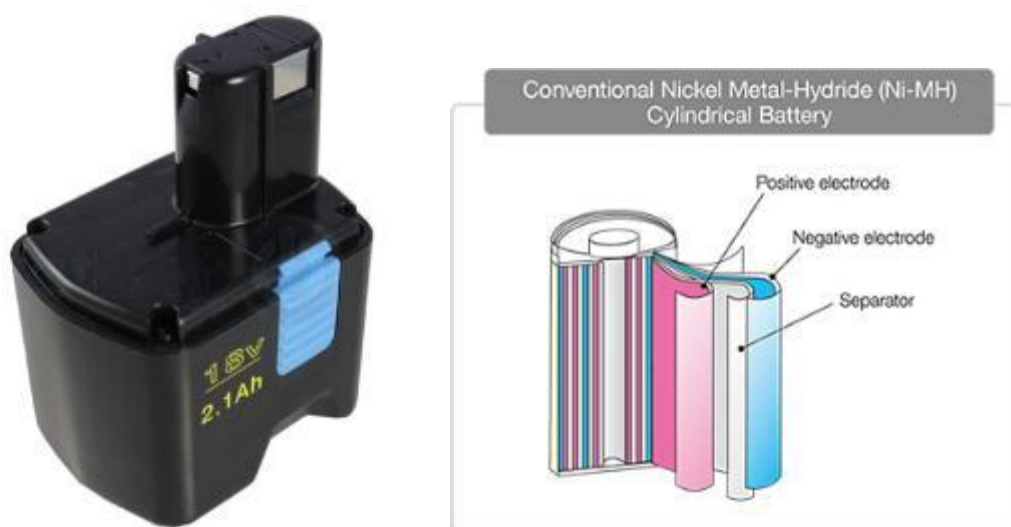
Hasonlóan nagy népszerűségnek örvendnek, bár a közlekedés szempontjából kevésbé fontosak az újratölthető alkáli-elemek. A régebbi ilyen elemek higanyt és kadmiumot tartalmaztak, ezért elég veszélyessé váltak, ha megsérültek. 2007 óta csak olyan alkáli-elemeket lehet forgalomba hozni, amelyek nem tartalmaznak mérgező nehézfémeket. Nagy előnyük, hogy töltésüket évekig szinte állandó értéken tartják, olcsók, könnyűek. Az elemek cellafeszültsége 1,5 V, a legjobbak akár 3000 mAh töltést is tudnak tárolni. A nem újratölthető társaiknál ismert méretekben (A, AA, AAA, AAAA, C, D, 9V) készülnek. Szinte az összes modern elektronikus szerkezet (fényképezőgépek, MP3-lejátszók, távirányítók, gyerekjátékok, hordozható rádiók stb.) alkáli-elemekkel működnek. A világon eladott akkumulátorok 80%-a alkáli, évente több mint 10 milliárd (!!!) darab készül belőlük.



Különböző méretű újratölthető alkáli elemek (balra), és ezek keresztmetszete (jobbra)

A NiMH-akkuk

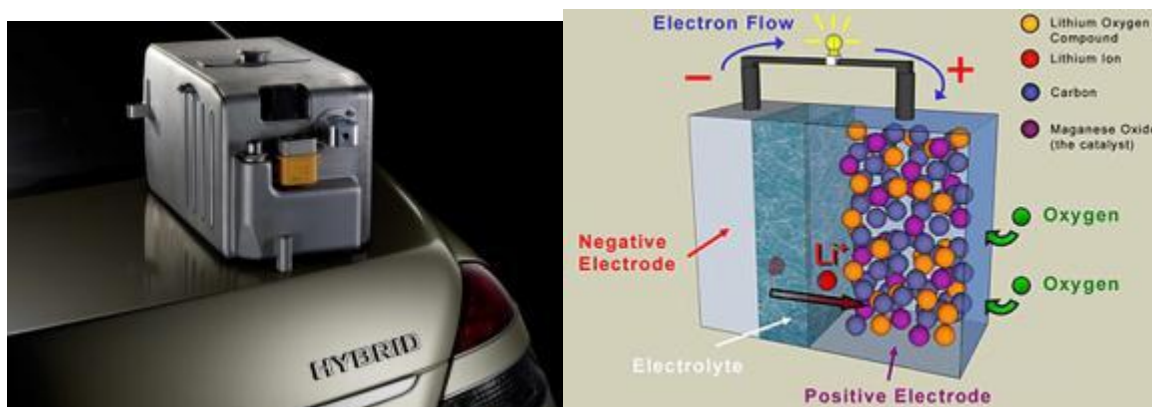
A nikkel-fémhidrid (NiMH) akkumulátorok között szintén találunk hagyományos, ceruzaelem-formájú egységeket, noha ezeknek a piaca már inkább a nagyobb teljesítményű gépek ellátása. A NiMH-elemek onnan kapták a nevüket, hogy az anódon valamilyen, hidrogént oldó fémvegyület (legtöbbször lantán és nikkel, kobalt, vagy alumínium), a katódon pedig nikkel-hidroxid vesz részt az elektronáramlásban. Az ilyen elemek a kadmiumot tartalmazó Nikkel-kadmium (NiCd) akkuk továbbfejlesztései, ahol a hidrogént oldó fémek az erősen mérgező kadmiumot váltották fel. Előnyük a viszonylag nagy energiasűrűség, a sokszori újratölthetőség (4000 fölött) illetve a szintén kedvező árfekvés. A NiMH elemek cellafeszültsége alacsonyabb más elemekénél, jellemzően 1,2 V, és az ilyen típusú tárolók gyorsan lemerülnek, ráadásul az önkisülési tényezőjük annál nagyobb, minél nagyobb az töltéstároló képességük. A kereskedelmi forgalomban kapható legnagyobb, 8000-12 000 mAh-s elemek akár 1 nap alatt is maguktól lemerülhetnek. Ezen a problémán a közelmúltban kifejlesztett LSD (Low Self-Discharge – alacsony önkisülésű) NiMH-akkuk segítettek valamelyest, de ebből a szempontból még mindig elmaradnak a legtöbb tárolótól, és a típus legnagyobb problémáját, az ún. memória-effektust sem tudták kiküszöbölni. A memória-effektus olyan jelenség, aminek ismérve, hogy amikor az akkut nem merítjük le, ill. nem töltjük fel teljesen, az „emlékezni fog” a részleges töltöttségi szintre, és ha rendszeresen így teszünk, egy idő után már nem lehet teljesen feltölteni, vagy lemeríteni, sőt idővel teljesen tönkre is mehet a telep. A későbbi Li-ion típusokat már nem sújtja ez a jelenség, ezért egyre több helyen szorítják ki ezeket az elemeket a piacról, igaz több hátrányuk miatt egy-két területen még egyeduralkodóak maradnak a nikkel-fémhidridek. A kisméretű akkuk felhasználási területe megegyezik az alkáli-elemekével, azonban a NiMH-elemeket sokkal nagyobb teljesítményű gépek működtetéséhez is használják. A Li-ion akkuk elterjedéséig a laptopok és mobiltelefonok is ilyen telepeket használtak, sőt a közelmúltig a hibridüzemű autók, buszok, önjáró trolik is NiMH-akkumulátorokban tárolták a villanymotorjaik működtetéséhez szükséges energiát, bár lassan ezen a területen is átveszik az uralmat a jóval nagyobb energiasűrűségű lítium-elemek.



Egy elektromos fűrógéphez való 15 cellás, 18 V-s, 2,1 amperórás NiMH-akkumulátor (balra) és a tároló keresztmetszete (jobbra)

A Li-ion akkumulátorok

Napjaink legmodernebb elektromos tárolóeszközei a már többször is említett lítium-ion (Li-ion) akkumulátorok. A csak a közelmúltban – a kisméretű laptopok, táblagépek, okostelefonok árának elérhetővé válásával – elterjedt telepek jelenleg a legnagyobb energiasűrűségű, és legkisebb tömegű akkumulátorok a piacon, a fejlesztés alatt álló válfajaik már a fosszilis tüzelőanyagok energiasűrűségét, és egy emberöltőnyi (lítium-nanoszálak akkuk: már most 50 év fölött) élettartamot ígérnek. A lítiumelemek nevüket onnan kapták, hogy a töltésáramlást lítium-ionokkal, ill. vegyületekkel (Lítium-oxid, lítium-kobaltoxid) hozzák létre. Nagy előnyük még, hogy nem folyékony elektrolittal működnek, ezért sérülésük nem okoz semmilyen szennyezést. A Li-ion akkuk más telepeknél nagyobb – 3-3,2 volt – cellafeszültségűek tehát kevesebb cella is elegendő ugyanakkora feszültséghez, illetve jóval könnyebbek is lehetnek. Ez halmozottan igaz a legújabb, lítium-polimer és lítium-kén változatokra. Jelenlegi legnagyobb hátrányai, hogy még viszonylag drágák, nem bírják a nagy töltőáramokat, szélsőséges hőmérsékleti tartományokban töltéstároló-képességük nagyon lecsökken, illetve működés közben nagyon melegsznek, ezért nagyteljesítményű gépeknél külön hűtőkört igényelnek. Napjaink laptopjai, mobiljai, PDA-i, táblagépei ennek ellenére kivétel nélkül ilyen akkukat használnak, és a legújabb hibridautók, elektromos járművek is készülnek már Li-ion telepekkel. A nagy költség, és a körülményes működtetés miatt azonban még beletelik néhány évbe, amíg a közlekedésben is teret hódítanak maguknak.



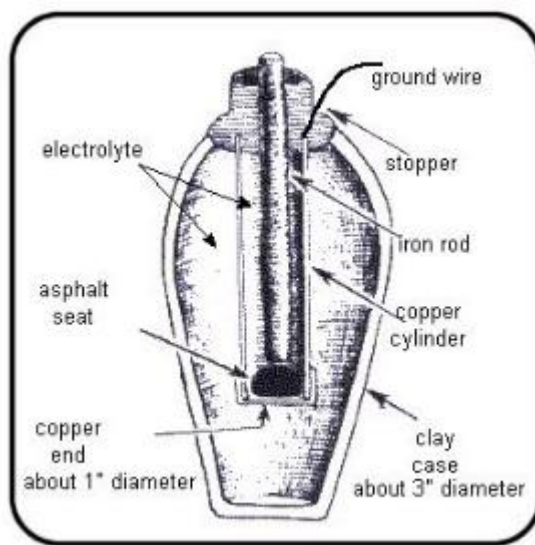
Balra: A 2010-től gyártott Mercedes-Benz S400 Bluehybrid 20 lóerős villanymotorja ebből a 120 voltos, 6,5 Ah-s Li-ion akkumulátorból nyeri az áramot. Jobbra: a jelenleg legmodernebb, Li-air (Lítium-levegő) akku működése

Ezekon kívül léteznek egyéb – kisebb darabszámban gyártott, vagy sikertelenebb – altípusok, mint pl. nano-titanát, nikkel-cink, nátrium ion, de ezekkel – mivel az elektromos tárolók piacán nem olyan nagy a szerepük, a vasúti vontatás szempontjából pedig nem lényegesek – nem foglalkozunk.

Az akkumulátorok története

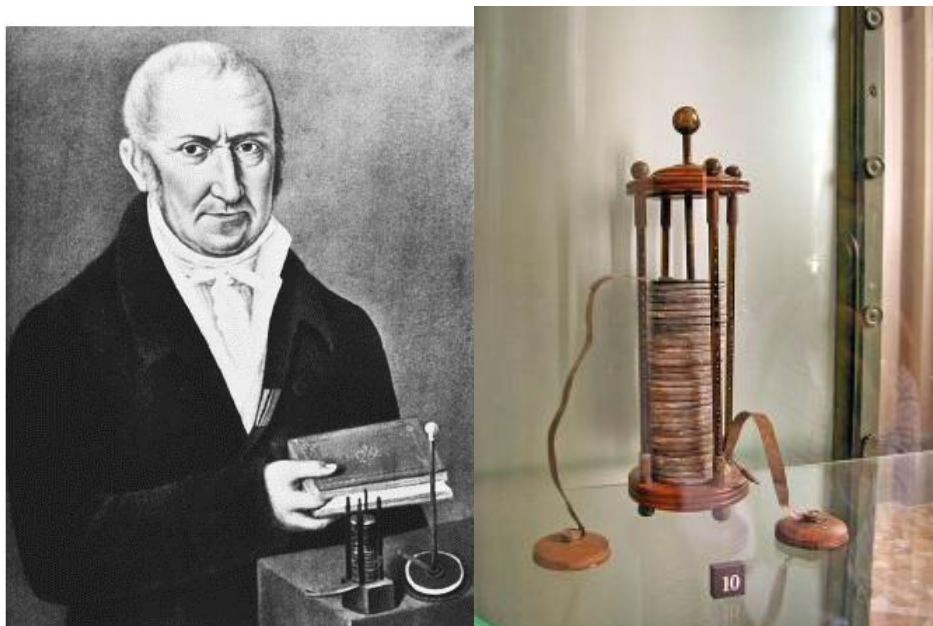
Az igény – hogy az elektromos áramot valahogyan tárolni tudjuk – magának elektromosságnak az elterjedésével egyidős. Az elektromosság jelenségét még Arkhimédész fedezte fel több mint 2000 évvel ezelőtt, amikor megdörzsölt egy borostyándarabot, és észrevette, hogy az anyag a könnyű tárgyakat magához vonzotta. A borostyán görög nevéből (elektron)

származtatjuk az elektromosság szavunkat. Az első akkumulátor is nagyjából ebben az időben készült, bár távol az európai civilizációtól. A régészek által kb. 2000 évesre becsült, és „Baghdad Battery”-nek (Bagdad Akkumulátor) nevezett leletek lehetnek az első, elektromos energia tárolására készített eszközök. Az ókori akkumulátorok agyagedénybe helyezett, spirális rézlemezekből álltak, a spirál közepében egy vasrúddal. Az edényt valószínűleg az akkoriban előállítható savakkal – citromlével vagy ecettel – töltötték meg. Hogy elektromos eszközök hiányában mire használták, arról a régészek is csak találgatni tudnak. Legvalószínűbb, hogy elektrokémiai bevonatok készítésére ékszerek számára, de egyes elképzelések szerint a nagyon gyenge áramot kínzóeszközként is bevethették, az áldozat bőrébe szúrt tűkön keresztül a korban valószínűleg isteni büntetésnek tartott csípések kiváltására.



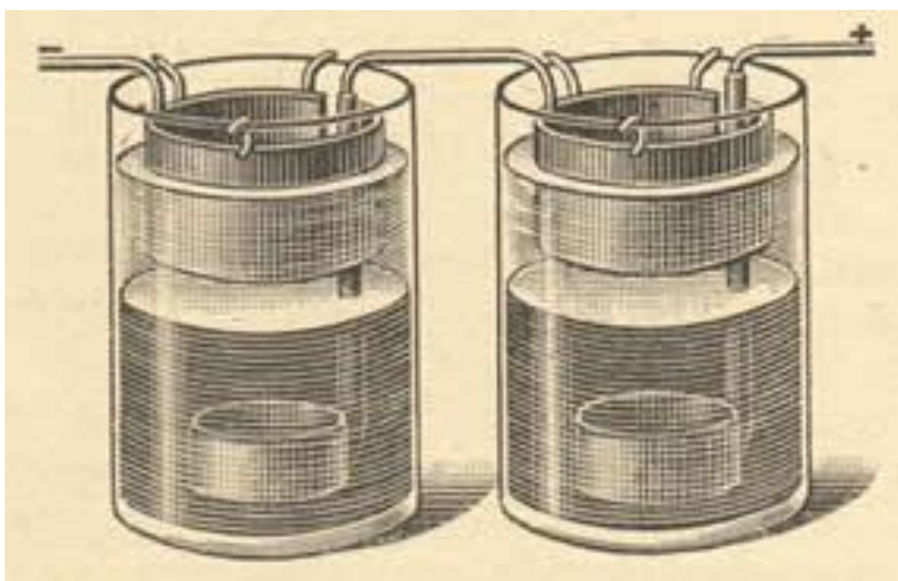
Ókori elektromosság: borostyánkő (balra) és a Bagdad-akkumulátor (jobbra)

Alessandro Volta itáliai tudós a galvánelemek működési alapjait csak jóval később, 1791-ben foglalta össze (a galvánelemek nevüket Volta barátjáról, híres békacomb-kísérletet végző Luigi Galvaniról kapták, akivel Volta együtt dolgozott). Volta nem sokkal később, 1800-ban már be is mutatta az első működőképes akkumulátorát, amely e tekintetben a mai energiatárolókra emlékeztetett. Az akkuban a később a feltalálóról elnevezett ún. voltaikus cellák biztosítottak – ekkor még nagyon gyenge – feszültséget (a feszültség mértékegysége, a volt szintén Voltáról kapta a nevét). A cellákban eredetileg textildarabbal elválasztott réz és cink fémlapok helyezkedtek el, az elektrolit szerepét sós víz töltötte be. Ez igen gyenge feszültséget produkált, így Volta más fém párokkal kezdett kísérletezni, míg végül a legjobb eredményt hozó réz-ezüst kombinációnál maradt. A voltaikus cellák gyenge, de stabil feszültség-szintet mutattak, és alacsony volt az önkisülési tényezőjük, de a rossz szigetelés és tömítés miatt a sósvíz elszivárgott, illetve a nem megfelelő textildarabok rövidzárlatokat okoztak.



Alessandro Volta gróf (1745-1827) az akkumulátor egyik feltalálója (balra), és találmánya (jobbra)

Az első akku, amelyet kereskedelmileg is sikeresen alkalmaztak, az 1836-ban elkészült Daniell-cellás elem volt, amelynél hígított réz-szulfátot rézedénybe helyeztek, ebbe egy kén-savval megtöltött cserépedényt merítettek, amelyből egy cinkrúd lógott ki. A Daniell-cellák már használható, 1,1 voltos feszültséget tudtak előállítani, így a korban nagyon népszerű szikratávíróknál vették hasznukat. Az első újratölthető akkut – amely történetesen az autókban ma is használ és már részletesen kitérő ólom-sav akkumulátor volt – 1859-ben találták fel. Az újítást később villanyvonatok lámpáinak működtetésére használták, hogy azok akkor is világítsanak, amikor a szerelvény nem kap áramot. 1899-ben jelent meg az első alkáli elem, amelyben nikkelt és kadmiumot használtak. A tároló energiasűrűsége jobb volt minden addigi akkunál, de borsos ára miatt még jó fél évszázadot kellett várni az elterjedésére.



A Daniell-cellás elem

1989-ben készült el az első NiMH telep, amely a 70-es években népszerű nikkel-hidrogén elemek továbbfejlesztése volt. Az akkoriban felfutó hordozható mobilpiacban az energiatároló komoly felvevőre talált, így gyors fejlődésének köszönhetően mérete, élettartama, energiasűrűsége, és nem utolsósorban az árfekvése is kedvezőbbé vált az idők során.

A ma a legtöbb elektronikai eszközben használt Lítium-ion akkuk már a 90-es, 2000-es évek szülöttei. Az első ilyen telepet 1991-ben dobta piacra a Sony, ezt 1997-ben követte a nagyobb kapacitású Li-Po-, majd a 2000-es évek elején a jelenleg a piacon levő legmodernebb Li-S (lítium-kén) akku. Egyik oldalról a kisméretű hordozható számítógépek, a másik oldalról az egyre inkább elterjedő elektromos járművek a fő okai annak, hogy az akkupiac a mai napig gyorsan fejlődik.

Annak ellenére, hogy jelenleg az akkukat – mint elsődleges energiaforrást – még nem lehet igazán komolyan venni, szinte minden közlekedési eszköz meghajtásaként elképzelték, sőt építettek olyanokat, amelyeket ilyen energiatárolók láttak el árammal. Az elektromos autókról és kerékpárokról már többször esett szó, de léteznek már akkumulátorból táplált városi teherautók, motorok, de még repülőgépek, sőt hajók, tengeralattjárók is. Az inkább a környezetvédelem, és az innováció, mint a praktikum vagy a gazdaságosság jegyében elkészült gépek között néhányuk több, míg másoknak kevesebb siker jutott az idők során.



Balra fent: Schwinn elektromos segédhajtású kerékpár. Elektromos módban 25 km-t tud megtenni, 40 km tekeréssel vagy konnektorról feltölthető. Jobbra fent: Keyword elektromos robogó. A jármű maximális sebessége 45 km/h, az 1,2 kW-os motorral 80 km-t tud megtenni egy feltöltéssel.



Balra fent: Tesla Model S 2012-ből. A 85 kWh-s Li-ion akkukkal felszerelt 420 LE-s (!!!) elektromos luxusautó akár 400 km-t is képes megtenni egyszerre. Jobbra fent: BYD elektromos autóbusz, hatótávja 100-120 km, ára 800 000 euró



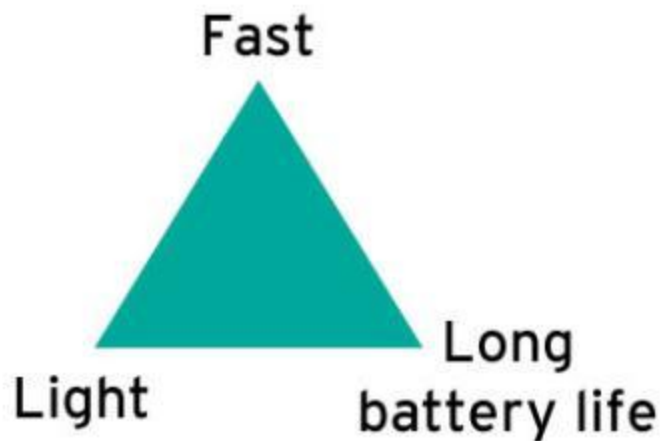
Balra: A horvátországi Plitvicei Nemzeti Parkban üzemelő 7 darab elektromos hajó egyike. Jobbra: Az Alstom Citedis gyártmányú akkumulátoros villamosai nem igényelnek felsővezetékét. A kép Nizzában készült.

Akkumulátorok és hagyományos mozdonyok – melyik a jobb, miért?

A dolgozat ezen része az akkumulátoros villamos mozdonyokkal és motorkocsikkal foglalkozik. Mivel azonban a vasúti járművek – egy-két kivételtől eltekintve – mindegyikén megtalálható valamilyen formában az akkumulátor, ezért ebben a fejezetben csak olyan mozdonyokat, motorkocsikat említünk meg, amelyeket kizárólag akkuból táplált villanymotor hajt, csak rövid távokon és/vagy töltés céljából csatlakoznak az elektromos hálózathoz. Az akkumulátorokat csak kiegészítő energiaforrásként használó kettős, vagy többes üzemű mozdonyokra egy későbbi fejezetben térünk ki.

Bár az akkumulátorok közlekedésben való felhasználásának igénye egyidős feltalálásukkal, az első használható járművek csak a második ipari forradalom idején (1880-as évektől az első világháborúig) jelentek meg. Ez az időszak egyben a dízel- és a villanymozdonyok hajnalát is jelentette, és ekkor még nem tudták, hogy a három közül melyik lesz majd egyszer elég fejlett ahhoz, hogy az akkor már a teljesítőképességük határára érő gőzmozdonyokat leváltsa. Egy modern 6000 lóerős, 10 ezer tonnás vonatot elhúzni képes dízelmozdonyra, vagy egy 380 km/h utazósebességű villanyvonatra nézve talán ma már megmosolyogjuk ezt, de akkoriban ez nem volt ilyen egyértelmű. A hatalmas, kis teljesítményű, ormótlan, csatlórudas dízelek, és a drágán gyártható, költséges alsó- vagy felsővezetékeket megkövetelő villanymozdonyok mellett az akkor még ezekhez képest különösebb hátránnyal nem rendelkező akkus lokomotívok és motorkocsik kimondottan jó eséllyel indultak ezen a „versenyen”. Az ilyen vasúti járművek nagy előnye, hogy nem okoznak helyi környezetszennyezést, mint a dízelek, és nem kellenek drága felsővezetékek sem, mint a villanymozdonyokhoz. Ugyan a működésükhöz szükséges elektromos áramot meg kell termelni az erőművekben, a rendszer eredő hatásfoka még így is kedvezőbb, működtetése pedig olcsóbb a dízelmozdonyokénál. Az erőművek ugyanis a dízelmozdonyoknál igénytelenebb üzemanyaggal (szén, fa, pakura) is elindíthatók, a vonatkozó környezetvédelmi előírásokat pedig könnyebb betartatni egy darab nagy energiatermelővel, mint több száz, ilyen-olyan állapotban levő kicsivel (dízelmozdonyokkal), ráadásul az ott található gőz- vagy gázturbinák mindig a számukra legkedvezőbb fordulatszámmal járnak, ezáltal az energiatermelésük is gazdaságosabb, mint az állandóan megálló-elinduló-emelkedően haladó mozdonyoké. Ha pedig az energiát környezetbarát víz- szél- vagy árapály-erőműben termelik meg, az ilyen vonatok üzemeltetése semmilyen környezeti terhelést nem okoz.

Ennek ellenére mennyi az esélye, hogy akkumulátoros mozdonytípussal találkozunk a vasutakon? Nem sok. Már korábban szó volt az akkuk legnagyobb hibáiról: az alacsony energiasűrűségről, a nagy tömegről, és hogy a mai akkuk még nem képesek versenyezni energiatárolásban az üzemanyagtartályokkal. Miközben pl. egy hagyományos autó egy tankkal 6-800 km-t is el tud menni, napjaink elektromos autói jó, ha 150-200 km-re képesek, ráadásul az ehhez szükséges hatalmas akku általában elveszi a helyet a csomagtartóból, és óriási tömegnövekedést okoz. Ez halmozottan igaz a vonatokra. Igaz, hogy esetükben a nagy helyigény nem akkora gond, mert a nagy dízelmotorok helyére beférnek az akkumulátorok, de egy 1500-2000 lóerős, vagy annál is erősebb mozdony, és a hozzá tartozó, ezertonnás vonat adott esetben emelkedően történő megindítása olyan hatalmas energiát igényel, aminek biztosítására nem képesek a mai telepek. Ezért a vasúti vontatás körében klasszikus, nagyvasúti mozdony nem is készült akkumulátoros meghajtással, a vontatási nemet – korlátai miatt – a múltban is csak kisteljesítményű motorkocsiknál, motorvonatoknál alkalmazták. Az akkuknak ennek ellenére van létjogosultsága napjaink vasúti vontatásában is: olyan helyeken, ahol a kipufogógázok nem megengedettek, a villanymozdonyok által okozott szikrázás pedig életveszélyes (bányák, tűzveszélyes üzemek) és nincs igény hosszútávú, nagytömegű fuvarozásra, az ilyen kismozdonyok a legjobb megoldásnak számítanak. A legnagyobb probléma azonban mégsem a felsoroltak valamelyike, hanem az, ami már több más érdekes vontatási nem elterjedését is megakadályozta: az ár. Az akkumulátorok még mindig igen drágák. A mellékelt táblázatban látható, hogy a fosszilis tüzelőanyagok, és az akkumulátorok ár/energia aránya több nagyságrend eltérést mutat. Még ha az igazságos összehasonlítás érdekében bele is számítjuk, hogy a villanymotorok a belső égésűeknél akár 3-szor jobb hatásfokúak is lehetnek, tehát ennyiszer kevesebb energiát igényelnek, akkor sem mérhető össze egy több ezer literes gázolajtartály tartalmának ára egy ugyanennyi energiát eltároló akkumulátoréval. A modern (lítium ion) akkuk ezenfelül nagyon fejlett számítógépeket, hőháztartásuk felügyeléséhez külön vezérlőelektronikát, és hűtőrendszert igényelnek. Példaként szolgálhatnak a buszok, amelyeknél most kezdenek elterjedni az akkumulátoros verziók. Egy korszerű szóló dízelbusz ára 200 ezer euró körül alakul, egy ugyanekkora teljesítményű troli valamivel drágább, 300-350 ezer euró, míg egy elektromos ennél jóval többbe 500 000 – 1 millió euróba kerül! Az költségek aránya a mozdonyoknál is hasonló, egy új dízelmozdony ára 2,5-3 millió, míg egy modern villanymozdony árcéduláján egy kicsivel magasabb, 3,5-4 millió euró körüli összeg szerepel. Egy akkumulátoros egység az előbbiek alapján ezeknél jóval drágább lenne, és még nem is ejtettünk szót az ilyen gépek másik nagy hátrányáról, a hatótávolságról. Míg a városi buszoknál – elég nagy flotta esetén – nem olyan nagy probléma, ha egy akkus járművet 100-120 km-enként újra kell tölteni, a vasúti vontatásban, ahol egy mozdony naponta több száz, vagy akár ezer kilométert kell teljesítenie, egy olyan jármű, amely egy komolyabb vonattal ezt már nem tudja megcsinálni, egyszerűen nem alkalmas az adott területre. Az akkumulátorok lassú feltölthetősége pedig már csak újabb szög a koporsóba: tankoláskor egy dízelgép töltési teljesítménye (az üzemanyag energiatartalmából, és a tankolási időből számítva) igen nagy, 100 MW nagyságrendű, az akkumulátorokat még a sokkal kisebb személyautók esetén is órák alatt lehet teljesen feltölteni, ezen értékük nagyságrendekkel kevesebb, néhány kW-os értékű. Sajnos a gyenge láncszem itt is az akkuk sajátossága, hogy vagy nem bírják a nagy töltőáramokat (Li-ion) vagy nem tudnak elég töltést tárolni (ólom-sav).



Az ún. "Battery triangle" (Akku-háromszög) mely az tárolók jelenlegi fejlettségi szintjén tapasztalható problémákra világít rá egyszerűen. A tervezőnek a három csúcs által jelképezett célok közül kell választania: Gyors tölthetőség, kis tömeg, hosszú élettartam. A korszerű akkuk megjelenéséig egy csúcs választásával kellett beérnie, ma már kettő is megvalósítható egyszerre

Ezért van az, hogy akkus vasúti járműnek csak a könnyű, kisebb sebességű, és nem nagy távolságokon közlekedő motorkocsik, motorvonatok voltak alkalmasak, illetve manapság is csak a kisteljesítményű, szerviz- vagy pályakarbantartó vonatok között találunk tisztán akkumulátoros meghajtásúakat.

AKKUMULÁTOROS VASÚTI JÁRMŰVEK

Az akksik vasúti alkalmazásával már az első, használható teljesítményt biztosító energiaforrások megjelenésével elkezdődtek a kísérletek. Az 1890-es években Belgiumban, Németországban, Franciaországban és Olaszországban foglalkoztak behatóbban a kérdéssel, de az első, utasokat is szállítani képes motorkocsi már csak a XX. században, 1901-ben készült el Németországban, egy 1887-ben épült, kéttengelyes, favázás tehervagonból.

A PSB Akkumulátortreibzug-ja

A kereskedelmi akkumulátoros vontatás úttörője a bő száz éve, 1907-ben elkészült, a Porosz Államvasutaknál szolgált (PSB – Preussischen Staatseisenbahnen) minden eredetiséget nélkülöző nevű Wittfeld Akkumulátortreibzug (Wittfeld Akkumulátoros motorvonat) volt. A leginkább két, hátuljával összeragasztott, vaskerekekkel felszerelt korai autóbuszra emlékeztető, kezdetben kettő, majd háromrészes vonatok a leghosszabb szolgálati idejű akkumulátoros példányok is voltak egyben. Húsz évig, 1907-től 1927-ig szolgáltak a PSB-nél, majd onnan a DRG-hez kerültek (Deutsche Reichsbahn Gesellschaft – Német Birodalmi Vasutak), 1927-től ennél a vasúttársaságnál futották a kilométereket egészen 1964-es – tehát több mint fél évszázados szolgálati időt jelentő – selejtezésükig. A DRG-nél egyébként új besorolást kaptak, sorozatszámuk ETA 177, 178 ill. 180-ra módosult. A motorkocsik 3 változatban, és szá-

mos altípusban készültek. Az első alváltozat tengelyelrendezése 1A+A1 volt, azaz az első, kéttengelyes szekciónak mindig a menetirány szerinti hátsó tengelye volt hajtott, az elől lévő futótengelyre támaszkodott a nagyméretű, 400 V feszültségű, 386 Ah töltésű ólom-sav akkumulátor. Mindkét szekciót egy 85 lóerős egyenáramú motor hajtotta, a vonat végsebessége 60 km/h, hatótávja 100 km volt. Az 57 darabos nullszériát aztán a valamivel erősebb második sorozat követte, ezek tengelyelrendezése 2A+A2 volt. A két motorkocsit átjáró kötötte össze, de azokat csak a személyzet használhatta. Az első Akkumulatortriebzug-ok nem éppen a nemesi réteg igényei szerint készültek. A nullszériás egységeken csak harmad- és negyed(!!!) osztály volt (a negyedosztályon csak állóhelyek voltak, és nem volt világítás sem) előbbin 46, utóbbin 54 utas fért el, plusz az éppen nem menetirányba néző vezetőálláson további 6 embernek jutott állóhely, egy szerelvény tehát 106 utast tudott elvinni. Fűtés ezen a példányokon – a telepek kímélése végett – nem volt.



A Wittfeld-akkumulátorosok két első típusa, a később ETA-176-os (fent) és 177-es számot kapott kétrészes motorvonatok (lent)



Az 1913-14-ben szolgálatba álló háromrészes akkus vonatok nagyban különböztek a korábbiaktól. A két motorkocsi közé egy mindkét végén átjárható vagon soroztak be, a közép szekció egyben át is vette a meghajtás szerepét. A szerelvények tengelyelrendezése 1-2+Bo+1-2 volt, a vagonban másodosztályú szakasz és poggyásztér is helyet kapott. A széria két altípusra oszlott, a 36 méteres rövidkocsis, és a 39 méteres hosszúkocsis alváltozatokra.

A fejlettebb háromszekciós 560-, illetve 720 Ah-s, 310 voltos akkumulátorokat kaptak, hatótávjuk 160 km-re nőtt, végsebességük azonban maradt 60 km/h. Az különböző változatokkal együtt összesen 171 darabos (163 két-, és 2+6 háromszekciós) Wittfeld-ek végigszolgálták két világháborút, megélték Németország kettéosztását, végül az akkumulátorok elhasználódásának következtében, 1964-ben az utolsó darabot is leállították. A kocsiosztályok típusa és nagysága alvázatonként eltérő volt, és az idők során is sokat változott. A negyedik majd a harmadosztály megszűnésével a szerelvények előbb másod- és harmad, majd teljesen másodosztályúvá épültek át (eközben – mivel a magasabb kocsiosztályok több helyet kínáltak egy utas számára – a befogadóképességük csökkent), selejtezésükkor a háromrészes Wittfeld-ek egy rövid elsőosztályú utastérrel is rendelkeztek. Az egyik kocsi Ma 080 02-es pályaszámmal a mai napig megvan, 1992-ben – nagyon rossz állapotban – a lengyel vasutakhoz (PKP) került, ahol a II. világháború előtti színtervnek megfelelően felújították, sőt működképessé tették, de sajnos hatósági engedélyt nem kapott a vonat.



A háromrészes ETA-180-asok (fent egy modellvonat), illetve a Németországban szolgált akkumulátoros típusok sematikus rajza



Érdekesség, hogy 1910-ben Oroszországban is készült – a most tárgyalt vonathoz a megszólalásig hasonlító – szintén kétszekciós és 2A+A2 tengelyelrendezésű, de az országban alkalmazott széles, 1520 mm-es forgóvázakkal egy akkumulátoros vonat, noha a németek hivatalosan sosem adták el a licenszet. Az orosz akkus gépek – amelyek egyébként az első villamos hajtású vasúti járművek voltak az országban – szintén 60 km/h-s sebességet voltak képesek elérni, a 320 voltos akkumulátorokkal pedig ugyancsak 100 kilométert tudtak megtenni egy feltöltéssel.



Az orosz akkumulátoros motorkocsi

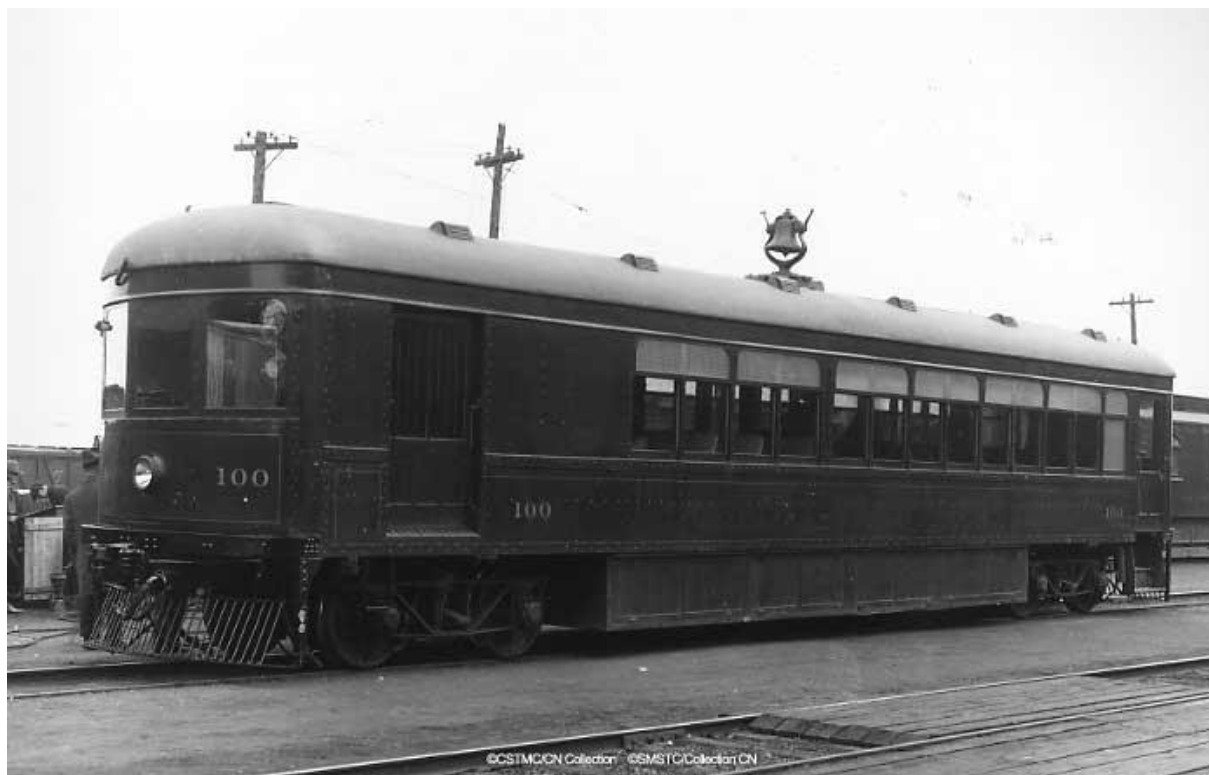
Az új-zélandi NZR RM

Az akkumulátoros hajtás ezekben az időkben gyorsabban fejlődött a felsővezetékes villamos vontatásnál, ezért nem egy országban fordult elő, hogy az első villanyvonatok nem vezetékből, vagy tápsínből, hanem akkumulátorokból nyerték az energiát. Az 1926-tól 1934-ig Új-Zélandon közlekedő NZR RM sorozatú Edison motorkocsi volt a sikeres, kereskedelmi forgalmat bonyolító akkus vasúti járművek úttörője, és igazán szép kezdetnek bizonyult a később langyos sikert elérő hajtás számára. Sajnos az ország anyagi helyzete csak egy kocsi vásárlását tette lehetővé, pedig eredetileg egy egész sorozatot terveztek a vonatból, amellyel a vidéki, addig csak vegyesvonaton (olyan vonat, amelyben személy- és teherszállító vagonok is vannak) közlekedő lakosság számára szerettek volna gyorsabb és tisztább alternatívát biztosítani. A motorkocsi elődje, az Edison és a vákuumcsöves vonatoknál már említett Beach által közösen épített Edison-Beach BEMU (Battery-Electric Multiple Unit – Akkumulátoros motorkocsi) 1911-ben készült el, és Amerikában szolgált rövid ideig.



Az USA-ban épült kísérleti Edison-Beach akkumulátoros motorvonat 1912-ből

Az összességében egy vasúti személykocsi és egy villamos keresztvezetésére hasonlító kocsi Bo-Bo tengelyelrendezésű volt, tehát két darab forgóvázának egyenként két tengelyét külön villanymotor hajtotta. A motorok összteljesítménye 120 LE-, a 34 tonnás, kétirányú közlekedésre alkalmas motorkocsi engedélyezett sebessége 60 km/h volt, és 70 utast tudott befogadni.

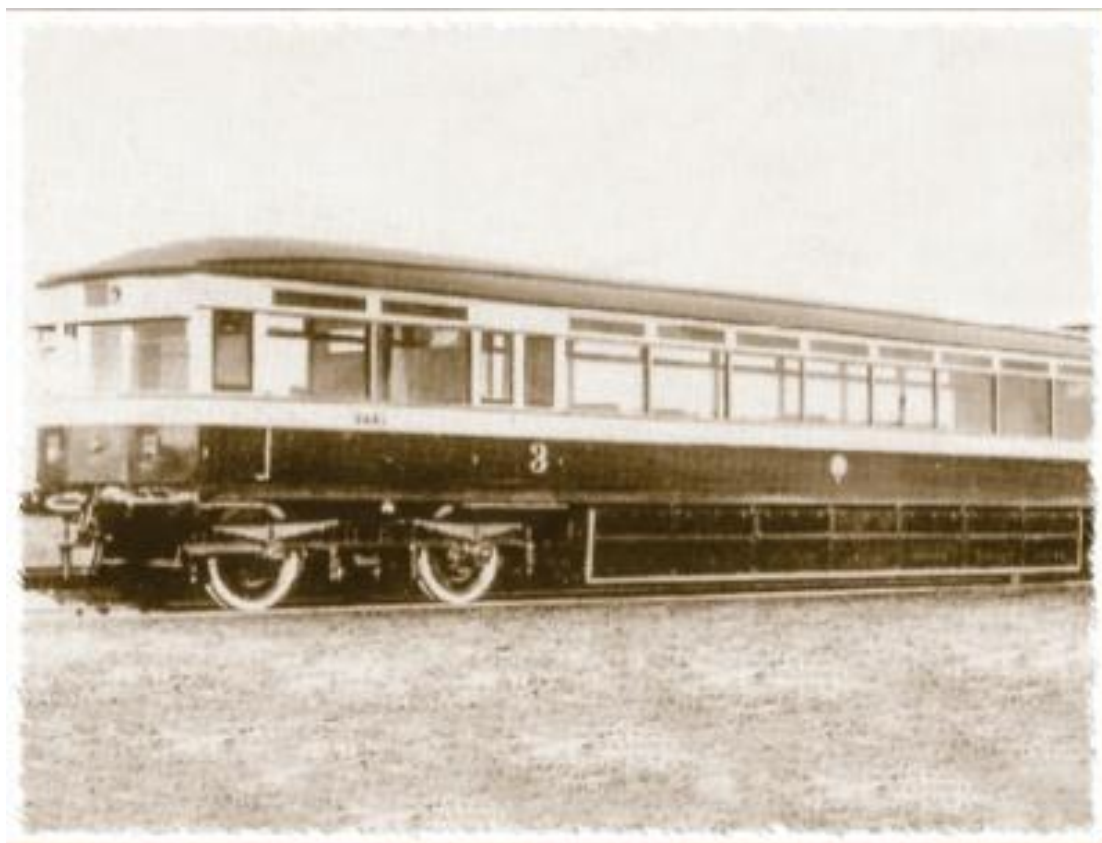


Az NZR akkumulátoros kocsi Új-Zélandból

Érdekesség, hogy az NZR RM nem rendelkezett merev tengelyekkel, minden kerekét külön motor hajtotta. Az ólom-sav akkukkal egy feltöltéssel 160 kilométert volt képes megtenni, utána 4 óra töltés következett. Az Edison vonatot az Új-Zéland déli szigetén található Christchurch városából közlekedtették Little River és Rangiora felé. Ezek a vonalak 50-60 km hosszúak, és megállókkal gyakran tűzdeltek voltak. Az akku kapacitása miatt a vonat egyszerre csak az egyik városba tudott utasokat oda-vissza szállítani, visszatérve Christchurch-be az akkumulátorokat töltőre kellett rakni. Az 1 óra körüli menet-, és a 4 órás töltési időket tekintve a járat naponta kétszer tudott elmenni mindkét városba. Az akkoriban hihetetlenül modernnek számító újítást azonnal megkedvelték az utasok és a személyzet is. A lassú vegyesvonatokhoz szokott utazóközönség el volt ragadtatva mind a menetidőtől, mind a kocsi szinte hangtalan járásától. Abban az időben ugyanis a vegyesvonaton utazva az utasoknak ki kellett várniuk, ha valamelyik állomáson a teherkocsikat rakodták, ez nagyon megnövelte a menetidőt. Képzeltető, mekkora előrelépést jelentett a minden állomáson csak néhány másodpercig álló, a korábbi viszonyokhoz képest villámgyors, és néma motorkocsi. A személyzet is kedvelte szintén csendessége, és tisztasága miatt. Eredetileg a kocsi rendeltetési helye egy másik vonal, a Lyttelton-i lett volna, ahol azért döntöttek az akkumulátorok mellett, mert a vonalon levő alagútban a gőzmozdonyok füstje miatt elviselhetetlen állapotok uralkodtak, az alagút túl kicsi volt ahhoz, hogy felsővezetéket húzzanak bele, ugyanakkor túl hosszú, hogy egy villanyvonat lendületben haladjon át rajta. Az építetőnek ezen felül nem volt elég pénz

sem a drága infrastruktúra kiépítésére. Aztán 1927-ben az alagutat átépítették, ezzel együtt villamosították, ezért az akkus kocsi a Christchurch körüli vasutakra került. A jó fogadtatásra talált akkumulátoros 8 évig szállította az utasokat komolyabb hiba nélkül, ám 1934-ben egy töltés során tűz ütött ki a motorszínben, és a vagon sajnos bennégett az épületben. A dúló gazdasági világválság miatt új példány vásárlása szóba sem jöhetett, mire az ország talpra állt a recesszióból, arra meg már érdekesebb volt modernebb dízel-, és elektromos motorvonatokkal megoldani az egyébként időközben megnövekedett forgalmat. A tüzeset után újra lassú vegyesvonatokra visszakényszerülő utasok sokáig emlegették még a szerencsétlen véget ért akkumulátorost.

A Drumm Battery Train - Írország



A Drumm-vonat

Hasonlóan sikeres volt a világ másik felén, az írországi Harcourt Street Line-on közlekedő Drumm Battery Train. A vonatokat tervezőjükről, Dr. J. J. Drumm-ról nevezték el, és akkus mivoltuk mellett egyben az első, elektromos meghajtású, személyszállító vasúti járművek voltak a szigetországban. Szerencsére az Edison vonatnál valamivel tovább, 1932-től 1949-ig közlekedtek, szolgálati idejük alatt Dublin elővárosait kötötték össze a főpályaudvarral. A korát megelőző akkus motorvonatokat szintén a kényszer szülte. A gőzmozdonyos elővárosi vonatoknak akkoriban kezdett már leáldozni, de az Ír Vasutaknak nem volt pénze villamosításra, és abban az időben egy akkumulátoros egység rövidtávon olcsóbb megoldást jelentett, mint egy villanyvonat a hozzátartozó infrastruktúrával. Ezenfelül a motorkocsi üzemidejével egybeeső világválság, illetve II. világháború szénhiányos időszakai sem kedveztek a gőzmozdonyos vontatásnak. A gőzösöknél könnyebb, de a mai motorvonatokhoz ké-

pest elég nehéz – 80 tonnás – iker-motorkocsik a kor legfejlettebb vonatai közé tartoztak. A két szekció a mai TGV-ken is alkalmazott középső közös forgóvázal volt összekötve, de a 4 darab egységet akár egy vonatként is lehetett közlekedtetni, ha arra volt szükség. Ebben az elrendezésben az akkumulátoros motorvonat akár 520 ülő utast is el tudott szállítani. A Drumm-vonatok két szélső forgóváza volt hajtott, mindkettőben egy 2000-es percenkénti fordulaton 130 lóerős egyenáramú villanymotor foglalt helyet, fogaskerék-áttéteken keresztül meghajtva a tengelyeket. A villanymotorok nagy nyomatékának köszönhetően az akkus gépek példátlanul nagy, 80 km/h-s utazósebességre voltak képesek, ezt a tempót pedig nem egészen 50 másodperc alatt érték el, amellyel fürgébbek voltak a korabeli autóknál is! Az energiát a meglepően gyorsan, „mindössze” 2 óra alatt feltölthető Drumm Traction Battery-nek nevezett, a forgóvázak között elhelyezett nikkel-vas akkuból nyerte a vonat. A 2 órás töltési idő ugyan elmaradt egy dízel motorkocsi percekig tartó tankolásától, vagy egy villanymozdony pár másodperces indítási idejétől, de az akkoriban a vontatási teljesítmény nagy részét adó gőzmozdonyok 4-5 órás felkészítési (szerelési) idejénél lényegesen kevesebb volt, nem beszélve a kényelmesebb, szénporral, kosszal nem járó procedúráról. Megfelelő körülmények esetén a vonatok 200-300 km-t is képesek voltak egy töltéssel megtenni, tehát általában egy napig elegendő volt az akkuk töltéskapacitása. A Drumm-vonatok 1949-ig közlekedtek, abban az évben az utolsó iker-motorkocsi akkumulátorai is végleg tönkrementek. A kocsikat félreállították, majd az 50-es években – az arra már a vandálok által szinte teljesen kifosztott maradványokat – szétvágták. Az akkus gépek szerepét az abban az időben már meglehetősen fejlett dízel- és villany motorkocsik vették át.

BR BEMU akkumulátoros motorvonat

Csak a kísérleti stádiumig jutott az 1958 és 1962 között, a Brit Vasutak (BR) által Skóciában közlekedtetett akkus motorvonat, ami a keresztségben a nem túl eredeti British Rail BEMU (Brit Vasutak – Akkumulátoros Motorkocsi) nevet kapta. A Drumm-vonatokhoz hasonlóan kétrészes – bár nem közös forgóvázal, hanem klasszikus csavarkapocccsal összekötött – egységek már fejlettebb, az autóiparban is használt ólom-sav akkumulátort kaptak. Az egyetlen megépült prototípust egy óriási, 36 darab 12 voltos autóakkumulátorból „összepakolt”, 216 cellás, 1070 Ah-s, 440 V feszültségű telep látta el energiával. Az akkus gép egyébként az akkoriban elterjedt, dízel- és villamos kivitelben gyártott Derby Lightweight típusú motorvonat kocsiszekrényét használta, így kívülről nem nagyon lehetett megkülönböztetni több száz hagyományos társától. A nehéz akkuk miatt viszonylag nagy – 71 tonna – tömegű, 120 személyt utaztatni képes motorkocsit a skóciai Aberdeen és Ballater városok között vetették alá a próbáknak 1958-tól. 1960-ban az eredeti energiaforrást egy nagyobb töltéstárolóképességű akkuval helyettesítették, az azonban nem vált be. Nagy terhelés esetén túlmelegedett, a mozdony személyzetének ezért nem egyszer kellett kisebb elektromos tüzekkel megbirkóznia a vonaton. 1962-ben az életveszélyesnek nyilvánított tesztjárművet félreállították. Állítólag néhányan még 1966-ban is látták közlekedni, nem sokkal a tesztelésre használt vasútvonal bezárása előtt. A félreállított gépet a Derby-i Railway Technical Centre megvásárolta, és a jóval találóbb „Gemini” (Ikrek) névre átkeresztelt vonattal több tucat tesztet végzett 1984-ig. A tesztek során vezető nélküli üzemre is alkalmassá tették, ezzel duplán is különlegessé téve az akkumulátoros vonatot. Ezután Glasgow-ba került a motorvonat, a West Yorkshire Közlekedési Múzeum megvette, felújította, és nosztalgiamenetekre adta bérbe néhány vasúttársaságnak. A múzeum 2001-ben sajnos tönkrement, és sok egyéb más mellett a Gemini-motorvonat is kalapács alá került. A sokat látott gépet végül a Royal

Deeside Railway vette meg, és újra felújította. A 79998-as és 79999-es pályaszámot kapott akkus motorkocsi-pár jelenleg szintén nosztalgiajárműként szolgál.



A BR BEMU (British Rail Battery-Electric Multiple Unit - Brit Vasutak Akkumulátoros Motorvonat) 1958-ban, és már Gemini-ként, átfestve 1990-ben

A német siker: A DB ETA 150-es akkumulátoros motorvonatai

Németországban – a Wittfeld akkumulátorosokkal szerzett jó tapasztalatok nyomán – egy új motorkocsi sorozatot szereztek be, ez lett az ETA 150-es, kétrészes akkus sínautóbusz. Az 1955-ben beszerzett 232 motor- és 216 mellékkocsi működhetett egy-, vagy kétrészes vonatként. A motorkocsik Bo-2 tengelyelrendezésűek voltak, egyik forgóvázuk tengelyeit két darab 200 lóerős motor hajtotta meg, ezzel akár 100 km/h-val is képesek voltak haladni. A Német Szövetségi Vasutak az akkus gépeket síkvidéki pályára szánta, mert emelkedőkön haladva az ideális körülmények között egész jónak mondható, 300 km-es hatótáv eléggé lecsökkent, és az akkuk élettartamának sem tett jót a nagy igénybevétel. Ennek ellenére néhány szóló egység a wuppertal-i dombok között is teljesített szolgálatot. A motorkocsi szekcióit a megszokott ólom-sav akkuk látták el árammal. Az évek során egyre nagyobb kapacitású darabokra cserélték le őket: az eredetileg 352/437 kWh-s (mellékkocsi/motorkocsi) darabok közül 1956-ban a mellékkocsik akkuit 390 kilowattórásakkal váltották ki, az 1959-ben érkezett még újabb energiatárolók már 520/603 kWh-nyi energiát voltak képesek felvenni (ez kb. 120 liter gázolajnak megfelelő mennyiség). Ezekkel már egy korabeli dízel motorkocsi hatótávolságával vetekedtek az akkumulátoros gépek. Az ETA 150-esek (1968-tól 515-ös illetve a mellékkocsik a 815-ös sorozatszámot kapták) az NSZK sok tartományát bejárták: A Ruhr-vidék, Schleswig-Holstein, Baden-Baden, Alsó-Szászország és a Rajnavidék egyaránt az előfordulási területeik között voltak a 40 éves szolgálati idejük alatt, sőt néhány szerelvény 1968 és 1978 között Hollandiába is tett kiruccanásokat, ezek a vonatok az Aachen-Maastricht viszonylatban közlekedtek. Az utazóközönség nagyon kedvelte az elektromos sínbuszokat, működésük alatt a „Taschenlampen Express” (Zseblámpa-Express), Steckdosen InterCity (Zseb-InterCity) néven emlegették őket, de hangjuk miatt hívták még „Maya a méhecskének” illetve a két forgóváz között elhelyezett óriási akkumulátorok miatt „Csüngőhasú disznónak” is. Az első vonatknál mindkét kocsi fele-fele arányban első-másodosztályú volt, az elsőn 2+2-es, a másodosztályon 2+3-as, középfolyosós elrendezésben voltak az ülések. A motorkocsiban poggyásztér is helyet kapott. Később az utaskapacitás növelése érdekében megnövelték a másodosztályú helyek számát, csak 8 darab ülőhelyet hagytak meg az első osztályú utasoknak, így a kezdeti 140 személyes (59-en a motorkocsiban, 81-en a mellékben) vonatok 186 személyessé (86+100) bővültek. 1975-ben a másodosztályon is áttértek a kényelmesebb

2+2-es kiosztásra. Ugyanebben az évben az eredetileg bordó színű vonatok közül néhányat a DB új, expresszvonat-színtervére (bézs-óceánkék) festettek át, ezek később a Bochum és Gelsenkirchen között közlekedő Nokia Express-ként gyorsvonati feladatot is elláttak. A két Németország egyesülése után az DB összes motorvonata – így ezek is – egységes, zöld-fehér színt kapott. Az ETA 150-esek 1995-ben vonultak nyugdíjba, ekkorra akkumulátoraik már nagyon elhasználódtak, és a Limberg-ben található akkumulátor-javító ebben az évben megszűnt. Két szerelvényt a DB egy magántársaságnak adott el, amely dízelhajtásúvá alakította át őket. A 011-es szimpla, és az 556+672-es pályaszámú dupla szerelvényt megőrizték, ezeket ma múzeumban lehet megtekinteni. Az 556-os ma is üzemképes, de sajnos nincs működési engedélye, és a korábban üzemelő vonali töltőállomások sincsenek már meg.



Az ETA-150-esek eredeti színezése (balra fent) ill. az 1990 utáni zöld-fehér (jobbra fent) és a Nokia-Expressként közlekedő akkumulátorosok új színterve (túldoldalt fent)



Föld alatti akkumulátorosok – A londoni metró kiszolgálói

Az 1898-ban megnyitott londoni Underground (becenevén „Tube”, vagyis Cső) új szakaszainak építésében már 1905-ben akkus szerelvények segédkeztek. A két mozdonyt az angol Hurst Nelson & Co. vagongyár gyártotta, hosszuk 15,5 méter, tömegük 50 tonna volt. A vontatók mindkét végén volt vezetőállás, a kettő között pedig 80 darab akkumulátor foglalt helyet (mindkét oldalon 40). A gépek 60 tonna terheléssel 7 km/h-t voltak képesek elérni. A korai mozdonyok a később érkezetekkel ellentétben nem voltak képesek tápsínról feltölteni akkumulátoraikat, de az illetékeseket meggyőzte az elgondolás, így a 4 évvel későbbi változa-

tot már menet közbeni töltést lehetővé tevő áramszedőkkel is felszerelték (lásd a vegyes hajtásokat bemutató rész „Önjáró villanymozdonyok” szakaszában). A két mozdonyt az építkezések befejeztével a Hampstead Railway-nek adták el.

A londoni metróban nem ezek voltak az utolsó járművek, amelyek elektromos hozzávezetési lehetőség nélkül közlekedtek. Több mint 100 évvel később, 2006-ban 4 új, teljesen akkumulátoros mozdony érkezett a társasághoz. A Walter, Lou, Anne és Kitty névre keresztelt kéttengelyes gépek (a négy név összeolvasva hasonlít „Waterloo and City”-re, a vonal nevére, ahol dolgoznak) teljesítménye 150 lóerő. A mozdonyok karbantartási munkákat végeznek, de korábbi társaikkal ellentétben nem képesek a hálózatról tölteni magukat. Ez azonban a rövid vonalon nem olyan nagy probléma, sőt, az akkuk fejlődésével valószínűleg áramszedős változatok is tisztán akkumulátorosokra lesznek cserélve idővel.



A 2006-ban beszerezett Metronet akkumulátorosok

Az akkumulátoros vasúti járművek unokatestvérei – A londoni Heathrow repülőtér ULTra utasszállítói

A közelmúltban, 2011 áprilisában adták át a londoni Heathrow repülőtér 5-ös termináljának új, modern, és ebből a szempontból úttörő, létesítményen belüli közlekedést szolgáló utasszállító eszközét. A ULTra fantázianevű (Urban Light Transit – Könnyű városi közlekedés) létesítmény a repülőgépekkel érkező utasok eljutását biztosítja a terminálra. Az ULTra egyébként kevésbé a vonatokkal, inkább a buszokkal áll rokonságban, de kötöttpályás mivolta miatt a vasúti szerelvényekre is hasonlít. A futurisztikus kinézetű, kapszula alakú kabinok egy betonpályában haladnak emberi beavatkozás nélkül, radarokkal, GPS-kapcsolat segítségével tájékozódnak. A 3900 méteres pályán közlekedő, 500 kg terhelhetőségű egységeket egy 2 kW-os, négy darab normál autóakkumulátorról táplált villanymotor mozgatja, maximális sebességük 40 km/h. Az akkuk töltése a járműtelepen zajlik, minden kocsi napi 22 órát dolgozik, a maradék időben az akkukat cserélik, illetve egyéb karbantartási munkákat végez-

nek rajtuk. A londoni ULTra 24 darab kocsival működik, ezekkel sikerült elérni, hogy egy átlagos utasnak mindössze 10 másodpercet kelljen várnia (Egy év alatt az utasoknak kevesebb mint 5 %-a várt egy percnél többet). Ez az évi több tízmillió utast figyelembe véve igen nagy időmegtakarítás, ezen felül a könnyű elektromos gépek fenntartása és üzemeltetése feleannyiba kerül, mint a korábban használt dízelbuszoké, amiket így el lehetett adni (az új közlekedési eszköz megbízhatósága 99,9 %-os!). A létesítmény hatalmas sikert ért el, ezért a reptér igazgatósága tervezi a többi terminál ellátását is ULTra-járművekkel. A kapszulákat gyártó cég egyébként azóta megtervezte a szállítóeszközök poggyász-szállításra alkalmas változatát, így a jövőben az utasok bőröndjeit is ilyen módon vinnék a repülőgépektől a csomagátadóig, illetve a közeli Staines városával is szeretnék összekötni a rendszert, mert a reptér személyzetének nagy része ott lakik. A megoldás egyetlen hátránya, hogy drága; egy kilométer építése a speciális pályából 7 millió euróba kerül (ebben nincs benne a kapszulák ára), ezért csak nagy várható forgalom esetén érdemes belekezdeni a hálózat bővítésébe.



A londoni ULTra akkumulátoros kapszulái

AKKUMULÁTOROS MOZDONYOK

Az akkumulátoros mozdonyok története és jelentősége a motorvonatokéhoz – és főleg a többi vontatási nemhez – képest csekély. Mivel a mozdonyoknak nagyobb tömegű és teljesítményű „vetélytársai” vannak, jelenleg csak kisvasutakon, bányavasutakon, valamint egy-két állomási tolatómozdony között találunk akkumulátoros típusokat.



Egy 760 mm-es keskeny nyomközű bányamozdony Kínából (balra fent) illetve a DB381-es (jobbra fent) és a DB382-es sorozatú német akkus tolatómozdonyok



Norfolk & Southern NS999: az első igazi akkus mozdony

Ha minden igaz, ez a jövőben változni fog. 2009-ben az amerikai Norfolk Southern (NS) vasúttársaság állományba vette a világ első – és eddig egyetlen – akkumulátoros tolató-tehermozdonyát, az NS999-et. A General Motors-gyártmány GP38-as, 4 tengelyes dízel-villamos mozdony kocsiszekrényét, és vontatómotorjait használó gép teljesítménye nem kevesebb, mint 1500 lóerő, a haladáshoz szükséges energiát a dízelmotor, a gázolajtartály és a generátor helyére beszuszakolt 1080 darab 12 voltos ólom-sav akkumulátorból szerzi. Ugyan ekkora helyen más típusú energiatárolókkal több energia felvétele is lehetséges lenne, az NS999-est készítő projekt célja nem csak egy papíron jól teljesítő, hanem a valóságban is használható lokomotív építése volt. A használatától függően a kb. 50 tonnányi akkumulátor

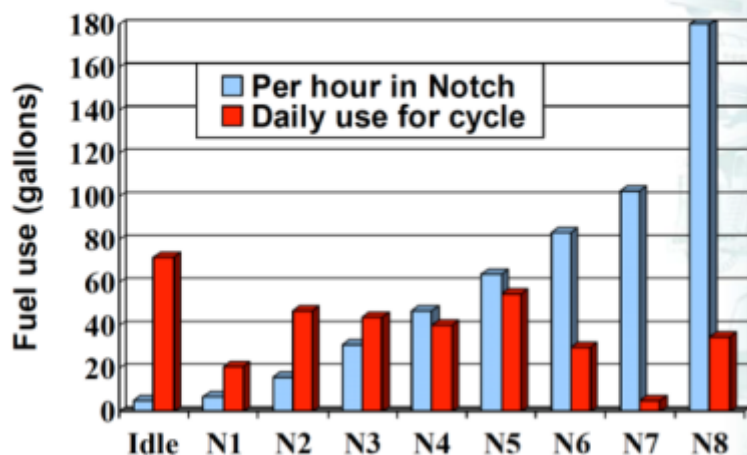
300-400 km megtételére teszi képessé az NS999-est, azaz egy átlagos tolatómozdony napi futásteljesítményét tekintve elegendő naponta egyszer feltölteni az akkukat.



A világ első modern nagyvasúti akkumulátoros mozdonya, az 1500 lóerős NS999-es

Egy – az akkumulátoros mozdonyokkal foglalkozó tanulmány szerint – egy átlagos amerikai tolatómozdony évente 85 000 gallon, azaz kb. 320 ezer liter gázolajat használ el. Ha az akkus mozdony esetében ugyanekkora futásteljesítménnyel számolunk, akkor az 255 000 dollár megtakarítást jelent évente, és 875 tonnával kevesebb CO₂-kibocsátást (ez 200 autó éves szén-dioxid emissziója). Ráadásul – mivel a tolatómozdonyok üzemidejük nagy részében csak alapjáraton járnak – ez a költség még tovább csökkenthető, hiszen az akkumulátoros mozdonyok motorja csak akkor használ energiát, amikor mozgásban vannak. Az NS999-est – révén prototípus – ajándékba kapta a vasúttársaság, bekerülési költsége több tízmillió euró volt. Ha beindul a gyártás, az akkus gépek ára persze jóval alacsonyabb lesz, ezenfelül a legtöbb fejlett országban a nullemisziós járművekre adókedvezményt is adnak, tovább csökkentve árfekvésebeli hátrányait. Az akkumulátorokat gyártó API (Axion Power International) már tervezi a vonali dízelmozdonyokat kiváltani képes, 3-4000 LE teljesítményű mozdonyokhoz való, az NS999-esben találhatóhoz képest 2-3-szor akkora töltéstároló képességű új akkumulátorokat. Ezt – a gyártó szerint – már új NiMH, vagy Li-ion telepekkel tervezik megvalósítani. Szeretnék, ha az évtized végére az akkumulátoros mozdonyok ára a dízel- és villanymozdonyokénál alig magasabb, 500 000 euró/MW fajlagos értékre esne vissza.

Switcher uses most fuel in idle for EPA cycle (GP38-2 data)



A fenti ábrán kékkel jelölik a mozdony óránkénti üzemanyag-fogyasztását az egyes menetfokozatokban (1 gallon = 3,8 l), és pirossal azt, hogy egy nap üzemidőből arányosan mennyi időt tölt a gép az adott fokozatban (Idle – alapjárat). Látszik, hogy – noha az alapjáraton fogyasztja a legkevesebbet a mozdony – mégis abban van a nap nagy részében, és ilyenkor általában egyszerűen csak áll. Az akkumulátoros mozdonyoknál alapjáraton csak a szükséges segédberendezések fogyasztanak áramot, ezzel rengeteg üzemanyagot takarítanak meg

Az akkumulátorok jövője a vasúti közlekedésben

Amennyiben a piac megfelelő sebességgel fejlődik, úgy talán az évtized végére már tényleg elképzelhető, hogy nagyobb rész jut majd az akkumulátoros vonatoknak a vontatásban, de az akkuk fejlettsége, és a nagyteljesítményű mozdonyok által támasztott igények között jelenleg akkora űr tátong, hogy a tömeges elterjedésre még sokat kell várni, ha egyáltalán valaha is megéri majd az akkukat vasúton használni. Ha bővül is a szerepkörük, inkább a nagy hatótávolságot és teljesítményt nem kívánó állomási tolatószolgálat, és helyi érdekű vasutak között számíthatnak nagyobb sikerre az akkumulátorok, esetleg más hajtásokkal közösen alkalmazva.

Felhasznált források és képek

<http://www.engrailhistory.info/r051.html>

Horst J. Obermayer: *Taschenbuch Deutsche power car.*

<http://www.midcontinent.org>

<http://papermau.blogspot.hu/2012/04/german-battery-powered-train-paper.html>

<http://www.alaskarails.org>

<http://www.bahn.hfkern.de>

Illingworth, T., *Battery Traction on Tramways and Railways*

<http://models11.net>

<http://www.old-dalby.com>

<http://home.arcor.de>

Thomas Feldmann: *Steckdosen-InterCity.*
Erinnerung an die Class 515.

<http://www.alibaba.com>

<http://seekingalpha.com>

<http://kation.elte.hu>

<http://www.popsci.com>

<http://www.mobilemag.com>

<http://akkumulatoroutlet.hu>

<http://www.daviddarling.info>

<http://alkalinebatteries.us>

<http://boomeria.org>

<http://www.bizrice.com>

<http://www.boat-project.com>

<http://imageshack.us>

<http://www.khi.co.jp>

<http://blog.caranddriver.com>

<http://1.bp.blogspot.com>

<http://www.eskmo.com>

<http://www.chemistryexplained.com>

<http://media.tumblr.com>

<http://patentpending.blogs.com>

<http://imagescn.technomuses.ca>

<https://s3.amazonaws.com>

<http://www.bahnen-wuppertal.de>

<http://www.altenergystocks.com>

X. FEJEZET

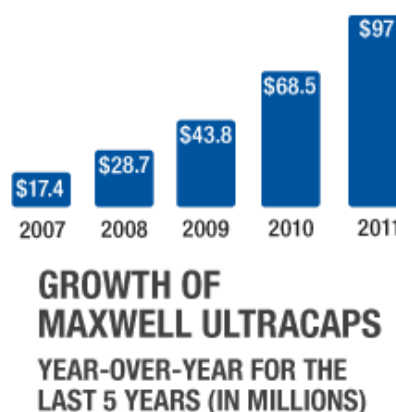
SZUPERKON- DENZÁTOROS VASÚTI JÁR- MŰVEK



A SZUPERKONDENZÁTOROK

Mi az a szuperkondenzátor?

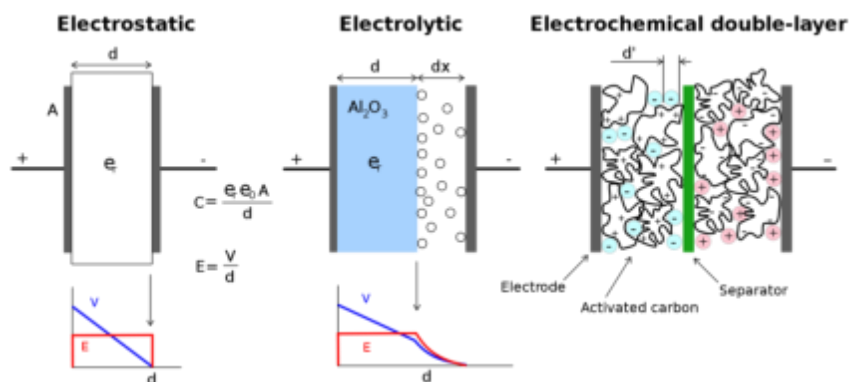
A teljesség kedvéért szót kell ejtenünk az elektrokémiai energiatárolók másik nagy – bár az akkumulátoroknál lényegesen ritkább – csoportjáról; a szuperkondenzátorokról. A szuper- (vagy ultra)kondenzátorok, hivatalos nevükön elektromos duplaréteg-kondenzátorok (angolul EDLC – Electric Double-Layer Capacitor) szintén elektrokémiai úton tárolnak elektromos energiát, bár az akkumulátoroktól eltérő módon. A kondenzátorok piaca sokkal kisebb az akkukénál, de annál jóval gyorsabban is növekszik; 2012-ben a világon közel 750 millió euró értékben adtak el szuperkondenzátorokat, ez lényegesen kevesebb a több tízmilliárd eurós akkupiachoz képest, de ez a szám évente 20-22 %-kal növekszik, azaz – hacsak a növekedés üteme nem változik – 20 éven belül már vetekedhet az akkumulátorokkal.



A Maxwell cég különböző méretű szuperkondenzátorai, és az ezek eladásából származó bevételek alakulása az elmúlt években. Látható a gyors fejlődés.

Működési elvük

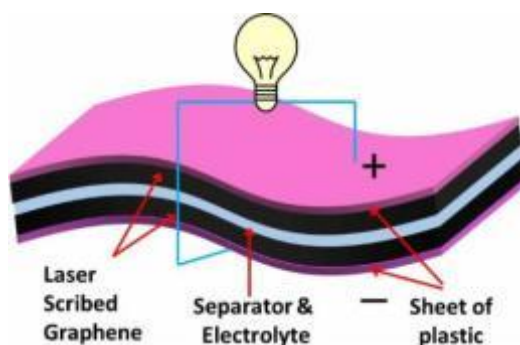
Az szuperkondenzátorok – noha nevükben hasonlítanak – sokban különböznek a sima dielektrikus kondenzátoroktól. A hagyományos kapacitásoknál a két fémlemez közötti teret kitöltő anyag segítségével tárolják a töltést, (az eltárolt mennyiség a fémlemezek – ún. pofalemezek – méretétől, távolságától és köztük lévő anyag jellemzőitől függ). Ha növelni akarjuk a kondenzátor töltéstároló képességét, nagyobb felületű fémlemezeket kell használnunk és/vagy csökkenteni a kettejük közti távolságot. Ez azonban csak a pofalemezek közötti térkitöltő anyag dielektrikus kisülési tényezőjétől függ, (efölött a két lemez közötti feszültségkülönbség kisülés formájában kiegyenlítődik és a kondenzátor használhatatlanná válik). Jobb minőségű anyagok választásával ez a jelenség kitolható, de meg nem szüntethető, és persze a tároló fajlagos árának növekedésével is számolni kell.



A különböző (elektrosztatikus, elektrolitikus, és elektromos duplaréteg) kondenzátorok sematikus működése. Az alsó diagramon a feszültség, és télerősség viszonyokat mutatják meg a kondenzátor egyes keresztmetszeteiben.

A szuperkondenzátoroknál ezzel szemben a töltést egy elektromos duplarétegnek nevezett jelenség segítségével – az akkumulátorokhoz hasonlóan kémiai úton – tárolják, mert így ugyanakkora helyen sokkal több töltés fér el. Ezt úgy valósítják meg, hogy a töltéssel rendelkező elektronokat egy nagyon vékony, mindössze néhány száz nanométer vastagságú – az emberi hajszálnál 1000-szer vékonyabb – ún. elektromos duplaréteg felületén tárolják. Ez a duplaréteg nem tömör fém, hanem valamilyen porózus (lyukacsos) szerkezetű anyag – például aktív szén – amellyel relatíve kis helyen (néhány cm³ ebből az anyagból több hektár belső összfelülettel rendelkezik!!!) hatalmas töltést lehet elraktározni. Hátránya csak annyi, hogy a vékony felületek miatt csak igen kicsi feszültségűek ezek a kondenzátorok, ezért használható mennyiségekhez sok kapacitás soros kapcsolásával jutunk (hasonlóan az akkumulátorok celláinak kapcsolásához). Mivel azonban a szuperkapacitások a hagyományos kondenzátoroknál sokkal kisebbek lehetnek, ez nem okoz problémát.

Utóbbi területen még rengeteget kell fejlődniük ezeknek az energiatárolóknak ahhoz, hogy együtt lehessen emlegetni akár az elektrosztatikus kapacitásokkal, akár az akkumulátorokkal. Jelenleg olcsósága miatt a hagyományos aktív szént alkalmaznak duplaréteggént, de fejlettebb anyagok használatával nagyságrendekkel lehetne növelni ezt a jellemzőt. Ilyenek pl. a grafén, vagy a szén-aerogél, amely egyrészt a világ legkisebb sűrűségű-, másrészt az egyik legnagyobb fajlagos belső felületű szilárd anyaga, 1 gramm belőle 1000 négyzetmétert rejt magában, miközben hihetetlenül nagy, 70-100 F kapacitást képes tárolni! Ezen anyagok hátránya természetesen igen magas áruk.



A grafénes ultrakondenzátor felépítése. Az eszköz nagy előnye, hogy nem merev, hanem hajlítható, ezzel hatalmas fejlesztési potenciál rejlik benne

A kapacitás mértékegysége: A farad

A kondenzátorok legfontosabb tulajdonsága az, hogy mekkora a kapacitásuk. A kapacitás mértékegysége a C/V, azaz farad (jele: F). Egy 1 farados kondenzátor 1 amperes áram hatására másodpercenként 1 voltal változtatja a feszültségét. 1 farad igen nagy mennyiség (mivel 1 C is nagy, az 1 V pedig viszonylag kicsi), a szuperkondenzátorok területét leszámítva ipari használatban ritkán fordul elő, a gyakorlatban ezért ennek a töredékeit használjuk. A félvezető technikában használatos a nagyon kicsi femtofarad ($\text{fF} = 10^{-15} \text{ F}$), és pikofarad (pF , 10^{-12} F), más területeken inkább a nano- (nF , 10^{-9} F) és mikrofara (μF , 10^{-6} F) a népszerű. Egy háztartási elem méretű elektrolitikus kondenzátor akár néhány száz millifarad kapacitású is lehet, míg a jelenleg készült leghatalmasabb (történetesen egy szuperkapacitás) 5000 F-ot tud tárolni. Ez a néhány tizedtől több ezer faradig terjedő intervallum a szuperkapacitások területe, és a jövőben hatalmas fejlődés várható, mely során a kapacitás nagyságrendekkel több, a fajlagos ár pedig kevesebb lesz. A szuperkondenzátorok elérhető kapacitása nagyon gyorsan növekedett az elmúlt tíz évben. Míg 2000 környékén az akkor még nagyon ritka, kF nagyságrendű kapacitást tároló kondenzátorok ára egy új családi autóéval vetekedett, ma egy 3 kF-os egységért alig 40 eurót kell fizetni! Ez az informatikában használatos adattároló eszközök fejlődésével összemérhető sebesség!

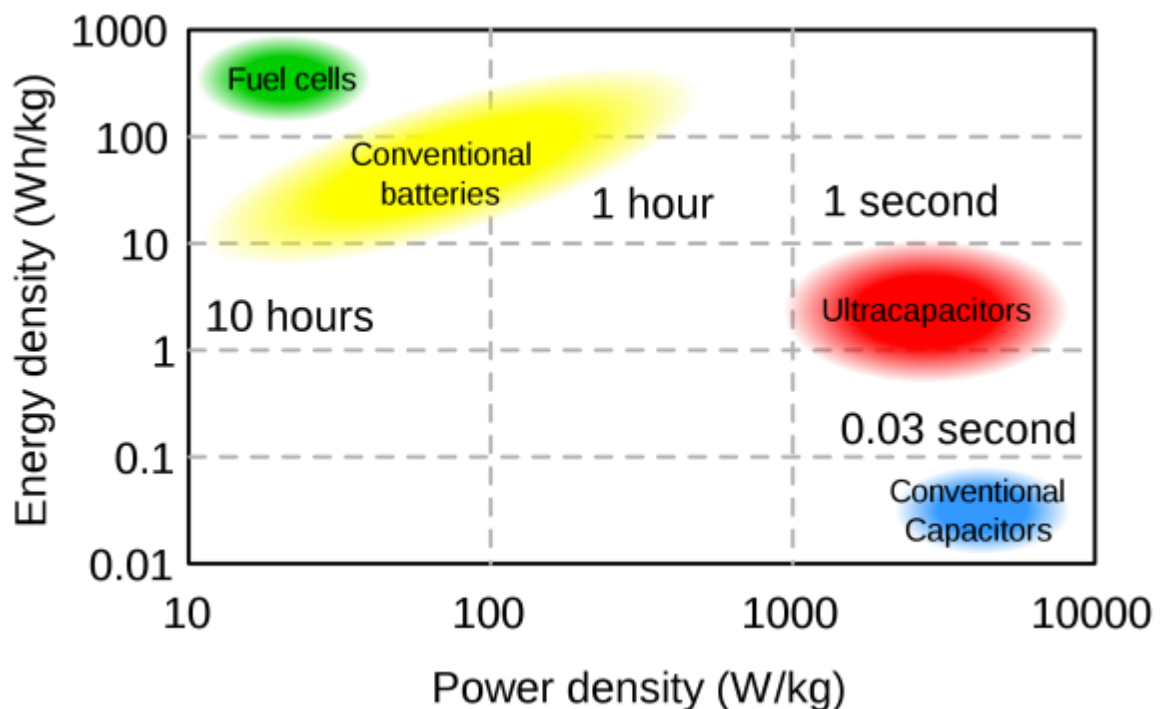


Az ultrakondenzátorok remekül kiegészítik az akkumulátorokat az energiatárolásban, számos előnyük közül a legnagyobb, hogy szinte az összes olyan tulajdonságban jeleskednek, amelyekben az akkuk nem, ez pedig hatalmas lehetőség a jövő iparának. Már most többféle olyan elképzelés létezik, amely a két energiatároló előnyeit egyesítő kettős-akkumulátorokkal foglalkozik. Mielőtt erre rátérnénk, vegyük sorra a szuperkapacitások előnyeit!

A szuperkondenzátorok előnyei

A szuperkondenzátorok legfontosabb pozitívuma, hogy gyakorlatilag soha nem használódnak el. Míg a mai legfejlettebb akkumulátorok is maximum néhány tízezerszer tölthetők újra (bár ez már igen szélsőséges eset, jellemzően inkább 2-3 ezer a kereskedelmi forgalomban is kapható darabok újratölthetőségeinek száma) addig a szuperkondenzátorok akár több százezerszer is feltölthetők anélkül, hogy mérhető kapacitáscsökkenést mutatnának, a teljes tönkremenetelhez pedig több milliószor! Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy soha nem kell kicserélni őket, mert az általuk kiszolgált szerkezet ennél valószínűleg jóval hamarabb elhasználódik. Ez egyrészt kényelmes, másrészt olcsó, harmadrészt pedig a kevesebb hulla-

dék miatt környezetbarát megoldás. A szuperkondenzátorok nemcsak az újratöltések számára, hanem az idő múlására, a páratartalom-, a terhelés-, és a hőmérséklet változására is érzékenyek, szemben egy akkumulátorral, amely még a legkedvezőbb körülmények között is néhány évet bír csak ki. Ha valami miatt egy kondenzátor mégis tönkremenne, nem tartalmaz környezetkárosító anyagokat, míg az akkuk legelterjedtebb válfajai (ólom-sav, alkáli elemek) még mindig veszélyes hulladéknak számítanak. A kondenzátorok töltési hatásfoka az akkukénál szintén kedvezőbb, elérheti a 95 %-ot is, amelynek köszönhetően kevés hőveszteség keletkezik töltéskor. Az ultrakapacitások esetében nem kell olyan, a töltést kényelmetlenné tevő jelenségekkel számolni, mint például a NiMH-elemeket sújtó memória-effektus, vagy az ólom-sav akkukat életveszélyessé tevő túltöltés. Végezetül pedig „betömik” az egyik hatalmas hátrányt, amely miatt az akkumulátorok egyelőre nem tudnak elterjedni nagyteljesítményű járműveken; egy korszerű szuperkondenzátor fajlagos teljesítménye elérheti a 6 kW/kg-ot is, amely (elméletileg) azt jelenti, hogy egy mai ólom-sav akku tömegével megegyező szuperkapacitás minden további nélkül képes lenne egy normál családi autót mozgatni. A jelenlegi családi hibrid (amelyek még csak nem is teljesen elektromos meghatásúak) autókban használt akkuk tömege ezzel szemben még mindig több száz kg.



Egy szemléletes diagram (ún. Ragone-diagram), amely megmutatja, hol helyezkednek el az egyes elektromos energiátárolók az energiasűrűség-teljesítménysűrűség táblázatban. A jobb alsó sarokban az található a nagy teljesítmény- de kis energiasűrűségű kondenzátorok, az akkumulátorok inkább a bal felső sarokhoz vannak közelebb. Az ideális a jobb felső sarok (mindkettő érték nagy) lenne.

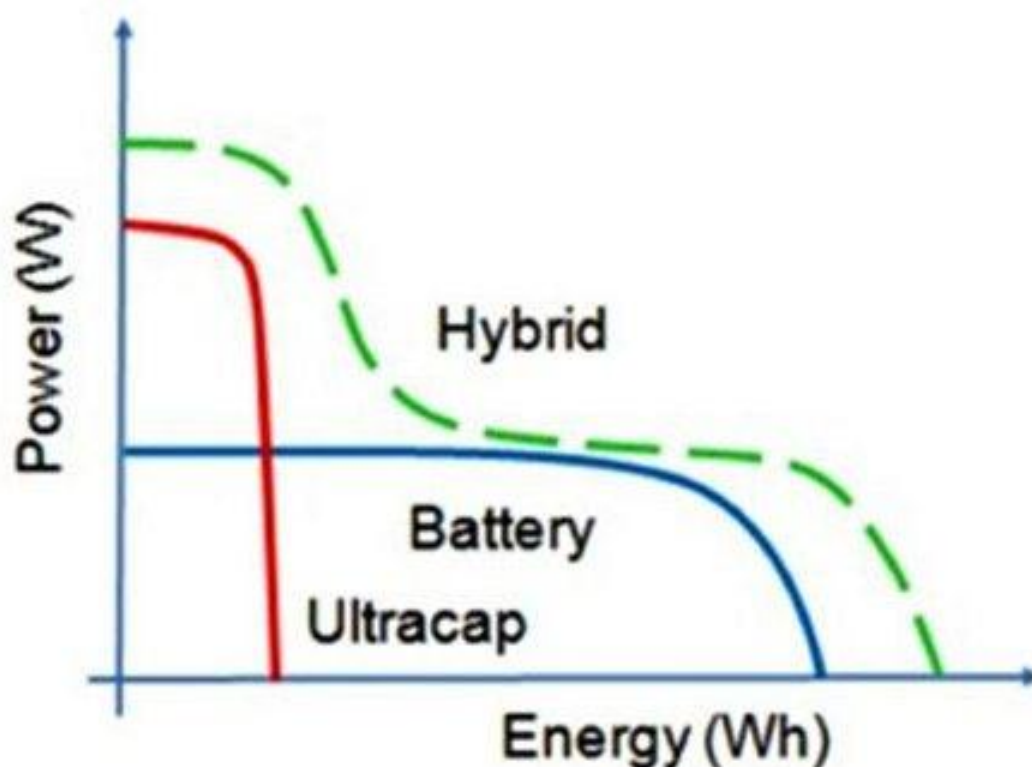
Súlyos hátrányok

Nem csengene azonban annyira ismeretlenül a témában nem jártasak számára a „szuperkondenzátor” szó, ha a nagyszerű előnyök mellett nem lennének ott a súlyos hátrányok. Az igaz, hogy a szuperkapacitások nagy teljesítményeket képesek szolgáltatni, azonban

a már említett alacsony feszültség szintek miatt (a jelenlegi legnagyobb feszültségű darabok is csak mintegy 5 V-ot tudnak előállítani) jelenleg igen kicsi fajlagos energiatároló-képesség jellemzi őket. Egy hagyományos autóakku 30-40- (lásd táblázat), vagy egy modern Li-ion telep 150-200 Wh/kg-os értékével szemben (amelyek – mint az többször lett említve – még szintén elmaradnak a folyékony tüzelőanyagok mögött) egy boltban is kapható kondenzátor kilogrammonként mindössze 3-5 Wh energiát tud eltárolni. Laboratóriumi körülmények között kísérleti kondenzátorokkal sikerült már elérni 85 Wh/kg-ot is, ám ezek messze vannak a kereskedelmi forgalomtól, ráadásul még ennél is jóval nagyobb értékekre lenne szükség. Ebből egyenesen következik a következő negatívum; a nagy teljesítmény-kis energiatároló képesség azt jelenti, hogy egy ultrakondenzátort maximum néhány másodperc alatt ki lehet sütni, bár sok esetben még ennél is rövidebb ideig – pár milliszekundumig – elegendő csak a tárolt energia. Többek között ezért sem alkalmaznak jelenleg szuperkondenzátorokat nagyteljesítményű, tartós üzemű gépek energiaellátására. A szuperkondenzátorok sajátja az ún. dielektrikus abszorpciónak nevezett jelenség, amely azt jelenti, hogy hosszú állás utáni kisütés esetén a kondenzátor nem képes teljesen leadni az összes töltést, ami rontja a hatásfokot. A jelenség annál súlyosabb, minél nagyobb a kapacitás (tehát a szuperkondenzátoroknál már elég hátrányos). Ez ellen úgy védekeznek, hogy bizonyos időközönként mindenképp lemerítik a kondenzátort, majd újra feltöltik. Mivel a kondenzátorok rengetegszer újratölthetők, ez használhatóságukat nem csorbítja. A szuperkondenzátorokban kisüléskor a feszültség nagyon gyorsan és nem egyenletesen esik, mint az akkumulátorokban, a töltés és a kisütés folyamatának levezényléséhez ezért fejlett számítógépek szükségesek, ezek viszont csökkentik a tárolási hatásfokot. További problémát jelent a kondenzátorok magas önkisülési tényezője, hisz míg az akkunál évek, hónapok, rosszabb esetben napok kérdése volt, hogy elveszsen a töltöttségi szint, a kondenzátoroknál ez a folyamat jóval gyorsabban, órák, percek alatt megy végbe. Nem szélesíti az ultrakapacitások felhasználási területét a kisülés során előforduló szikrázás sem, amely miatt tűzveszélyes helyeken nem ajánlatos a használatuk.

Szuperakkumulátorok: Rövidtávú megoldás vagy a jövő energiatárolója?

Persze lehet, hogy ezek a hátrányok a jövőben megoldódnak (vagy éppenséggel egy újfajta energiatároló leváltja mind a kondenzátorokat, mind az akkukat), de addig a két megoldás „összeházasítása” jelentheti a legjobb megoldást. Mivel a két energiatároló sok tekintetben kiegészíti egymást, a közeljövőben az ilyen kettős akkumulátorok jelenthetik az elektromos energiatárolás következő evolúciós szintjét. Ezekben az akkuk és a kondenzátorok közül mindig az vesz részt a hajtásban, amelyiknek az éppen kedvezőbb. Például egy mozdonny motorjának indításakor a kondenzátor szolgáltatná az energiát (és ez alatt valószínűleg le is merülne), hogy aztán a nagyobb energiaigényű fogyasztókat már az akkumulátor lássa el, miközben a lemerült szuperkapacitást gyorsan újra is töltené.



A szuperkondenzátorok és az akkumulátorok előnyeit egyesítő ún. hibrid akkumulátorok egyszerre tudnának nagy teljesítményt leadni, és sok töltést tárolni (piros: szuperkondenzátor, kék: akkumulátor, szaggatott zöld: szuperakkumulátor)

A megoldással ezzel együtt megoldódna egy csak a közelmúltban, a rekuperációs (fékezéskor energiát visszatápláló) fékberendezések elterjedésekor felmerült probléma. Egy jármű fékezésekor másodpercek (mozdonyok esetében percek) alatt fel kell emészteni hatalmas mozgási energiát, ez adott esetben több száz kW fékteljesítményt jelent (ez az energia az, ami képes a tárcsafékeket akár 1000 °C-osra is felhevíteni). Mivel ekkora energia-visszatáplálásra nem képesek a jelenlegi rendszerek, a megoldásnak egyelőre nincs olyan nagy haszna, a mozdony mozgási energiájának nagy része még ugyanúgy kárba vész a féktárcsákon, nyomkarimákon. Az ilyen szuperakkumulátorok ezt a rendszert gyakorlatilag tökéletessé tehetik. Képzeljünk csak el egy olyan dízelmozdonyt, amelynek csak biztonsági okokból vannak kerékfékjei, mert a fékezéskor a felemésztett mozgási energia tengelygenerátorokon keresztül a fedélzeti szuperkondenzátorokat tölti, amelyek aztán a lassabban tölthető akkumulátorokba közvetítik át az energiát. Induláskor a vontatómotorokat a feltöltött akkumulátorokból táplálnák meg, a dízelmotor csak az utazósebesség elérésekor indul el! Ezzel a megoldással töredékére lehetne csökkenteni a mozdonyok fogyasztását, mivel elhasznált energia nagy része a vonat indítására, gyorsítására fordítódik, és ezekben a fordulatszámtartományokban egyébként is kedvezőbb a villanymotor hatásfoka. Ehhez viszont még rengeteget kell fejlődnie a szuperkondenzátoroknak, és az áruknak is elfogadható szintre kell esnie.

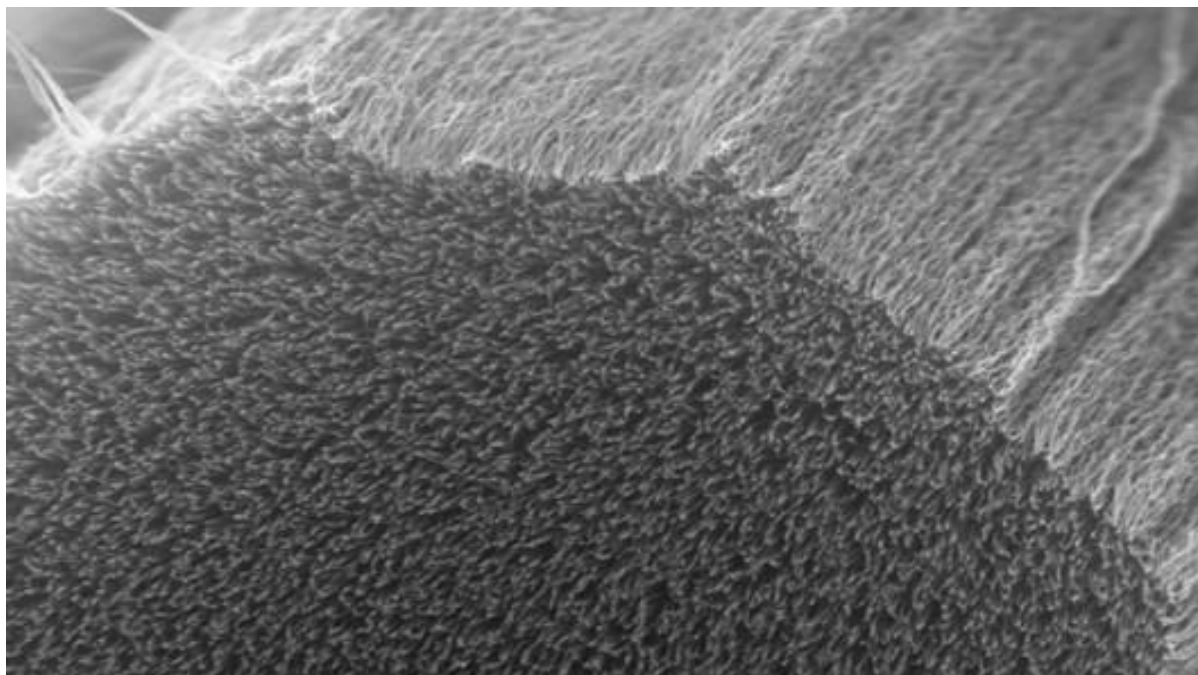


**Egy Li-ion akkumulátorból és egy 40 F kapacitású szuperkondenzátorból álló hibrid akkumulátor.
Jövőbeli társai nagy és nehéz járművek energiaellátását tehetik gazdaságosabbá**

A szuperkondenzátorok története

A szuperkondenzátorok története az itt bemutatott hajtásokhoz képest nagyon rövid. 1957-ben a General Electric mérnökei megjósolták az elektromos duplaréteg jelenségét, mikor megfigyelték, hogy a porózus aktívszénben rejlő hatalmas felület kiválóan alkalmas energiatárolásra. Ekkor azonban még nem állt olyan szinten a technika, hogy meg is valósuljon az elképzelés. 1966-ban az ohio-i Standard Oil kutatórészlege egy üzemanyagcella kifejlesztése közben véletlenül fedezte fel a jelenséget (a kutatók szintén aktívszént használtak, ez a mai szuperkapacitások nagy részének is az alapanyaga). A cégnek magának nem sokat jelentő kutatási eredményeket aztán eladták a japán NEC-nek, aki 1978-ban megépítette az első ilyen szerkezetet, és a „szuperkondenzátor” szót is ők használták először a technológiára. A NEC a szuperkapacitásokat szerverfarmok vézellátására akarta használni, de a 90-es évek közepéig – mivel a terület anyagtechnológiája nem volt egy szinten a fejlesztőmérnökök elképzelésével – nem nagyon volt érdeklődő. A 90-es évek közepére érte csak el azt a szintet a fejlettség, hogy egyes robotgyártó cégek akkumulátorok helyett a gyorsabban tölthető-lemeríthető energiaforrást választották olyan robotok meghajtására, amelyekhez nem volt elektromos hozzáférési lehetőség. Mivel a szuperkondenzátorok sűrűsége kisebb az akkumulátorokénál, ezért a repülőgépipar is hamar felfedezte magának az új eszközt. A világ legnagyobb utasszállító repülőgépe, az Airbus A380 vészkijáratának, és csúszdáinak üzemeltetésére szintén nagy teljesítménysűrűségű kondenzátorokat használ. A 2000-es években megjelentek az első 1 mikrométernél vékonyabb duplaréteget használó darabok, a technológia csúcsát jelenleg a mindössze 22 nanométeres (az emberi hajszál vastagságának 4000-

ed része) „vastagságú” duplaréteggel üzemelő, ún. nanoelektromos kondenzátorok jelentik, amelyek meghatározhatják a technológia fejlődésének irányát az elkövetkező évtizedekben.



A legmodernebb szuperkondenzátoroknál használt szén-nanocsövek szerkezetének elektronmikroszkopos képe

Kondenzátoros járművek: „Capa-vehicles”

Mivel a szuperkondenzátorok jelenleg még elég drágák, felhasználási területük szűkebb, mint az akkumulátoroké, elterjedésük is csak a jövőben várható, de elképzelések már most is vannak. Az ún. „capa-járművek” (szószerinti fordításban rétegjárművet jelent, de ettől az elnevezéstől – félrevezető hangzása miatt – eltekintünk) olyan gépek, amelyek szuperkapacitásokat (is) használnak energiatárolásra. A gyors tölthetőség és nagy teljesítménysűrűség miatt itt is elsősorban kiegészítő energiaforrásként tekintenek a szuperkapacitásokra, de az energiasűrűségek növekedésével akár le is válthatják majd egyszer az akkumulátorokat ezek a tárolók. Már most több tucat olyan kísérleti busz közlekedik a világban, amelyek a napelemekkel ellátott buszmegállókban, mindössze az utascsere ideje alatt feltöltik kondenzátoraikat, és így kb. 1-2 megállónyi távolságot képesek megtenni, hogy aztán a következő megállóban (vagy egy piros lámpánál) újra feltöltsék magukat. A töltés egyébként a csak mostanában kifejlesztett vezeték nélküli induktív töltési rendszer lenne, amelynek elemeit az útpályába építenék be. Ily módon a jövő hibridautóit is tölteni lehetne. Az ilyen ún. CapaBus-okat egyelőre kisméretű kiegészítő dízelmotorral is felszerelik végszükség esetére, de a technológia fejlődésével ezek elhagyhatók, és ezzel a trolis és az önjáró elektromos buszok mellett új típus fejlődhet ki. Nagy teljesítménysűrűségüknek köszönhetően a kondenzátoroknak nagy jövője van az erős, de egyszerre csak kis távolságokon használt gépek területén, így raktárakban használt daruk és targoncák meghajtásaként kiválóak lehetnek. Már jelenleg is használják a szuperkondenzátorokat a modern versenysportokban (Le Mans-i 24 órás verseny, és a jövőben a Forma-1 is), mivel az akkumulátoroknál könnyebbek, és gyártásuk nem szennyezi a környezetet.



Balra: A 2006 óta Sanghajban közlekedő 60 CapaBus egyike. A buszok szuperkondenzátorai teljesen feltöltve 5 km-re elegendő energiát tudnak tárolni, de 30 másodperc alatt (ez egy átlagos utascsere ideje) feltölthetők annyira, hogy 1 km-re (kb. egy megállónyira) el lehessen menni a busszal. Jobbra: ehhez hasonló kondenzátorokat fognak használni a jövő Forma-1-es autói.

Néhány alkalmazás a vasút területén

Az első, teljesen szuperkondenzátoros vasúti járművet 2012 augusztusában mutatták be Kínában. A kínai CSR metrókocsi gyár 2014-től tervezi kereskedelmi forgalomba helyezni a kétszekciós, csuklós szerelvényeket, melyek a tetőn elhelyezett szuperkondenzátorokból hajtják meg a négy darab háromfázisú aszinkron vontatómotort. Teljesen feltöltve az akkuk 2 km-re elegendő energiát tudnak eltárolni, és kevesebb mint 30 másodperc alatt tölthetők fel újra. A töltés az állomásokon, az utascsere közben történik, illetve fékezéskor a nagyteljesítményű kondenzátorok visszanyerik a gyorsításkor befektetett energiát.



Kínai CSR-gyártmányú, szuperkondenzátoros CapaMetro

Folyt. köv...

A nagyvasutak területén jelenleg még nem létezik olyan jármű, amely kizárólag szuperkondenzátorokat használna energiatárolásra, a részben kondenzátoros mozdonyokat és motorkocsikat pedig a pár fejezettel későbbi, vegyes hajtásokat bemutató részben taglaljuk.

Felhasznált források és képek

<http://hu.mouser.com/new/maxwell/maxwellhc/>

http://thefraserdomain.typepad.com/energy/energy_storage/

<http://www.maxwell.com/ultracapacitors/>

<http://www.idtechex.com>

<http://cleantechnica.com>

<http://www.ioxus.com>

<http://www.gizmag.com>

<http://www.eetasia.com>

<http://www.bonapart.de>

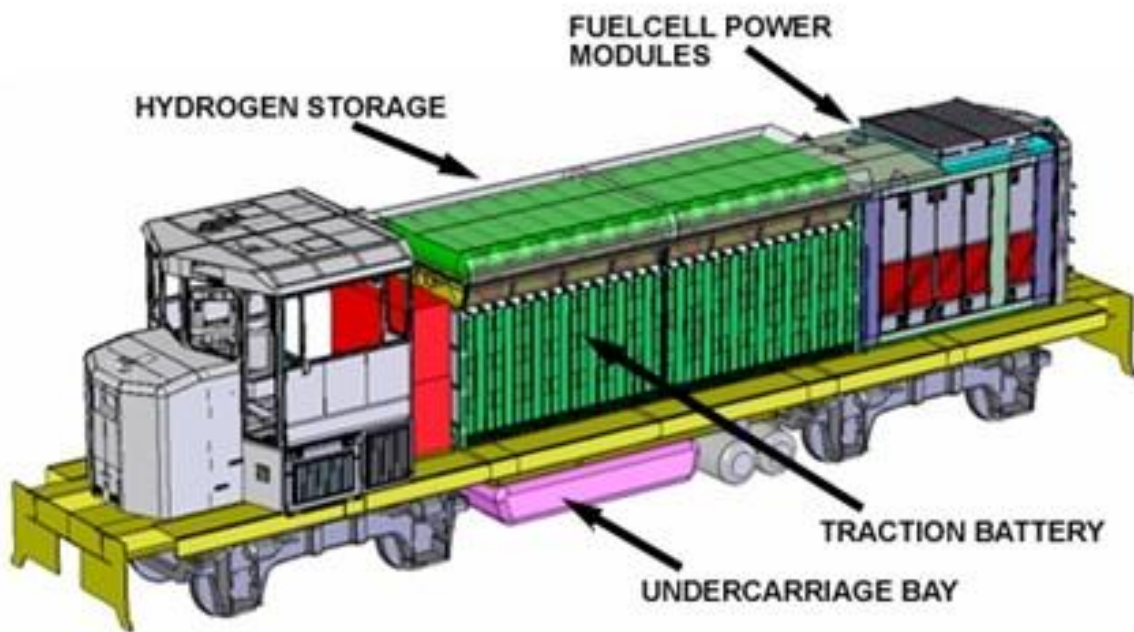
<http://www.railwaygazette.com>

<http://www.frost.com>

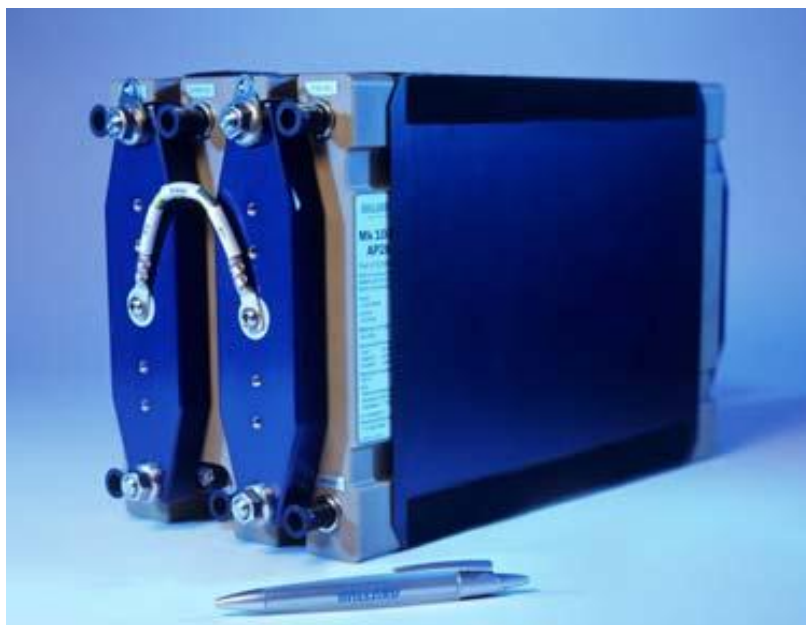
<http://www.directindustry.com>

http://www.mpoweruk.com/fossil_fuels.htm

ÜZEMANYAG- CELLÁS MOZ- DONYOK



AZ ÜZEMANYAGCELLÁK



Protoncserés üzemanyagcella

Bevezetés

A fedélzeti elektromos tárolók (és energiaforrások) témájában beszéltünk már az akkumulátorokról és a szuperkondenzátorokról, így már csak a harmadik nagy csoport van hátra: az üzemanyagcellák. A megoldás szintén az elektrokémiai tárolók közé tartozik, ebben az értelemben az üzemanyagcellák inkább az akkumulátorokkal állnak „rokonságban”.

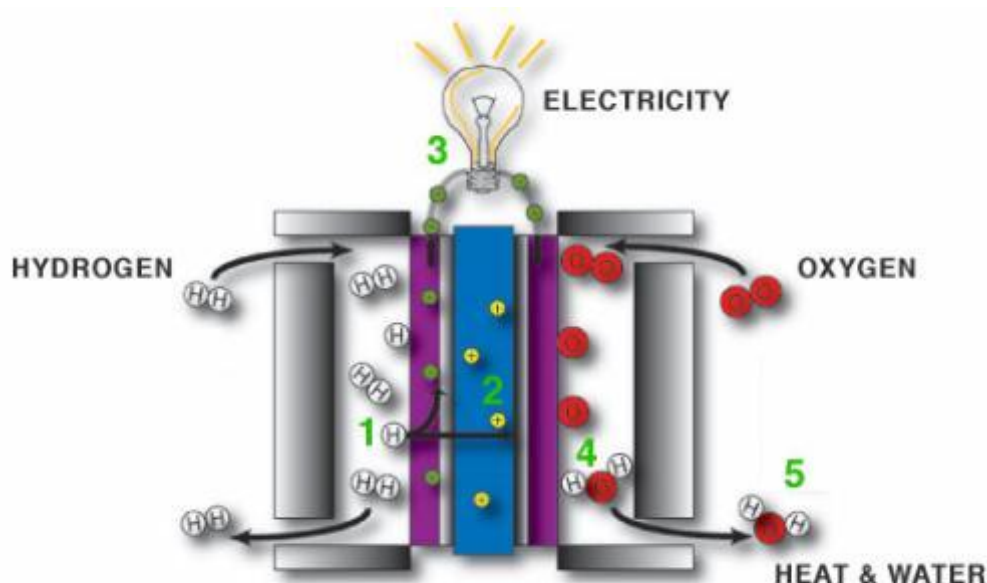
Mi az az üzemanyagcella?

Mind az akkuk mind a cikkben tárgyalt üzemanyagcellák megegyeznek abban, hogy három alapvető részből, anódból, katódból és a köztük levő folyékony elektrolitból állnak. Az áram mindkét megoldásnál az anód és a katód között keletkezik az elektrolit révén. A különbség egyrészt az, hogy míg az akkumulátor energiatároló, az üzemanyagcella energiatermelő. Míg előbbinél az elektronok az „elektrolitban vannak” – így ezek a szerkezetek külön egységként képesek áramot szolgáltatni – az üzemanyagcellák esetében ehhez – ahogy a nevében is benne van – valamilyen, az elektronokat tartalmazó üzemanyag szükséges. Ez a leggyakoribb esetben hidrogén (ilyenkor a reakció végén víz keletkezik), ritkábban metanol (ekkor a végtermék szén-dioxid és víz), de léteznek különleges üzemanyagok is.

Hogyan működik?

Működésük a következőképpen néz ki; az anódra érkező üzemanyag pozitív töltésű ionokra és elektronokra esik szét, majd keresztülhalad a féligáteresztőként működő elektroliton – ez az anyag csak a pozitív töltésű ionokat engedi át, az elektronokat nem. A különböző

potenciálú anód és katód között tehát egyenáramú feszültség keletkezik, amely alkalmas villamos gépek meghajtására. A katódon a pozitív ionok a környezetből vonják el a semlegesítéshez szükséges elektronokat (a gyakorlatban oxidálódnak), így az üzemanyagcellák közvetve a környezetből „készítenek” elektromos áramot. Az üzemanyagcellákat az anód-katód típusok, az elektrolit fajtája, és az üzemi hőmérséklet alapján rengeteg altípusra lehet felosztani, mi most csak a közlekedés szempontjából fontos változatokkal foglalkozunk behatóbban. Az anód anyaga leggyakrabban platina bevonatú fém, az anód pedig legtöbbször nikkelből készül, de az üzemanyagcellák versenyképessé tétele érdekében a platínát igyekeznek olcsóbb fémekkel kiváltani, de ez eddig nem látszik sikeresnek, mivel csak a platina – és az arany, bár utóbbi anyagszerkezeténél fogva alkalmatlan erre a célra – olyan fém, amelyik természeténél fogva nem rozsdásodik. Megoldást talán a fejlett, „intelligens” polimerek jelenthetnek.



A protoncserés membrános, hidrogénüzemű üzemanyagcella működése

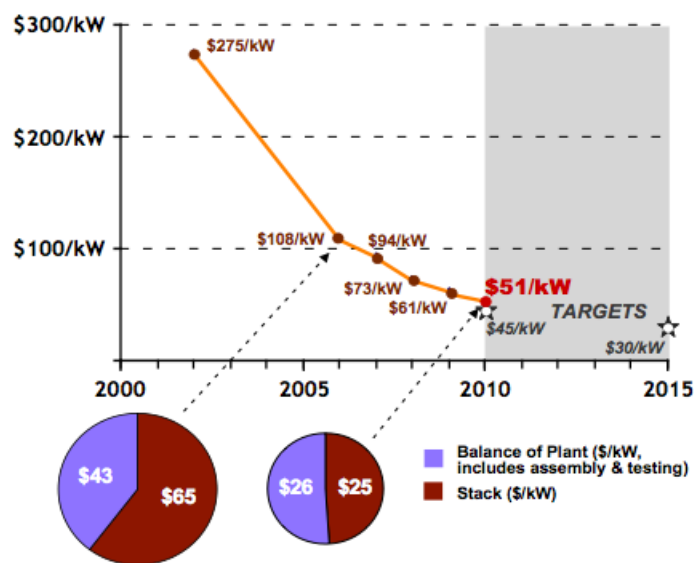
Gép, amely soha nem romlik el...

Az üzemanyagcellák legnagyobb előnye más – általában közvetve fosszilis energia-hordozókhoz kötött – erőforrásokhoz képest, hogy működésük közben nem keletkezik károsanyag. A hidrogén-üzemanyagcellák csak vizet termelnek, a metanolt, ill. más szénhidrogéneket használóknál minimális szén-dioxid kibocsátás tapasztalható ugyan, de mivel – és ez a megoldás másik előnye – ezek a gépek a hőerőgépeknél jobb, 50-60 %-os hatásfokkal működnek, a fajlagos emisszió elmarad azokétól. A cellák nem tartalmaznak mozgó alkatrészeket, sem mérgező anyagokat, és égés sem zajlik bennük, ezért megbízhatóságuk igen nagy. A legmodernebb berendezések üzemképessége 99,9999 %-os (!!!), ami azt jelenti, hogy gyakorlatilag soha nem romlanak el (legalábbis maga a szerkezet). Olyan rendszereknél/járműveknél, amelyeknél a biztonság és az üzemképesség a legfontosabb, az üzemanyagcellák jelentik tehát a legjobb megoldást. A cellák elsődleges üzemanyaga, a hidrogén megtalálható a szénhidrogén-származékokban (jelenleg ezekből állítják elő), illetve gyakorlatilag végtelen mennyiségben a természetes vizekben, így nem kell attól tartani, hogy egyszer csak

elfogy, mint ahogy az a fosszilis tüzelőanyagokról már régóta köztudott. Az üzemanyagcellák fajlagos teljesítménye igen nagy, nagyobb, mint a belső égésű motoroké. Manapság 2,5 kW/kg-os fajlagos teljesítményű darabok is készülnek, tehát egy átlagos autó meghajtásához elég lenne egy 50 kg-os, egy buszhoz 150 kg-os, míg egy 1 tonnás darab már egy komolyabb mozdony meghajtásához is elegendő teljesítményt szolgáltatna (belső égésű motorból 100-200, 400-600, illetve 10-15 000 kg-os egységek kellenek ugyanekkora teljesítményhez). A cellák által üzemeltetett villanymotorok előnyei egyértelműek a belső égésű motorokhoz képest; zajtalan működésüknek, kis méretüknek, nagy hatásfokuknak és óriási nyomatékuknak köszönhetően sokkal alkalmasabbak a mai járművek mozgatására, ráadásul nem kellenek hozzájuk sebességváltók. Sőt, ha nem egy nagy hajtóegységet, hanem a kerekekben elhelyezett, ún. agymotorokat alkalmazunk, akkor differenciálművek, és felfüggesztések sem szükségesek, ezzel a manapság nagyon fontos rugózatlan tömeg is tovább csökkenthető. Ez igen nagy előny! Ha pedig a rendszert a már az akkumulátoroknál és a szuperkondenzátoroknál említett energia-visszatöltő fékberendezéssel szereljük fel, akkor egy energiafelhasználási szempontból szinte tökéletes járművet kapunk. Látható tehát, mennyire fontos lenne az üzemanyagcellák fejlesztése. A hátrányok is egyébként nagyrészt a jelenlegi technika korlátai okán léteznek, kevésbé magának az üzemanyagcellának a negatívumai miatt.

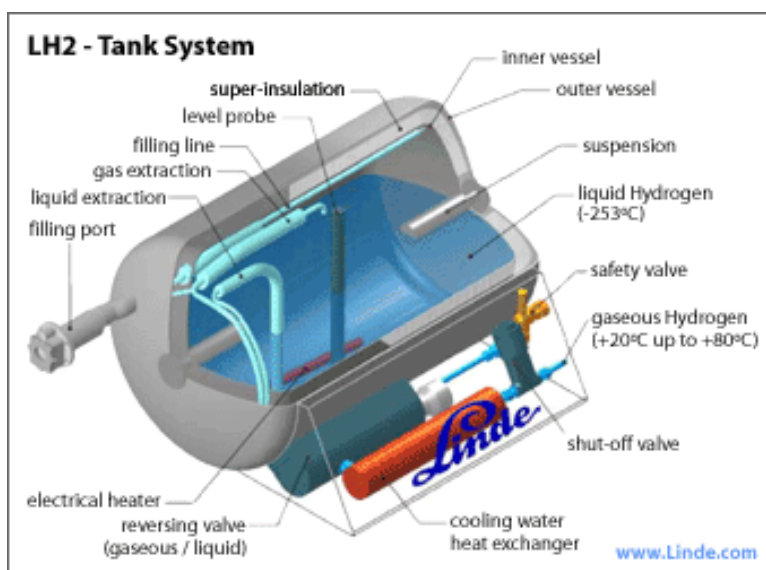
...csak éppen sokba kerül!

Talán már nem meglepő, hogy az ok, amiért az üzemanyagcellák még nem terjedhettek el az az örök mumus: az ár. Már említésre került, hogy a berendezés drága anyagokkal működik (bár napjainkra sikerült leszorítani az egységenként felhasznált platina tömegét néhány száz milligrammra), ezen felül egyelőre kiforratlan, egyedi technológiának számít, amelynek gyártása és fejlesztése drága. Sújtja őket ezen felül az elektromos energiaforrások és tárolók örök démona, a teljesítményhez képest magas költség. Egy 1 kW-os üzemanyagcella előállítási költsége jelenleg 40 euró körül alakul. Ahhoz, hogy versenyezni tudjanak a jelenlegi belső égésű motorokkal, ennek legalább a felére kell lecsökkennie.



Az üzemanyagcellák árának alakulása ez elmúlt években. A tortadiagram késsel a cella-, barnával a kiegészítő berendezések árát mutatja arányosan

A hidrogén üzemanyagként még nem terjedt el széles körben, a fejlett országokban is jelenleg csak „mutatóban” van néhány hidrogénkút (Németországban jelenleg mindössze 14 darab üzemel, ezt 2015-ig 50-re emelik, de az összesen több mint 46 ezer benzinkúthoz képest ez gyakorlatilag semmi), a világ nagy részén pedig még csak nem hallottak erről a meghajtásról. A hidrogén egyébként már önmagában elég sok hátrányt jelent. Az üzemanyagcellás gépekben nagy (több száz bar) nyomáson, és -260 fokos hőmérsékleten, a termoszkokhoz hasonló szerkezetű tartályokban, folyékony halmazállapotban tárolják (a legmodernebb darabok annyira hatékonyak, hogy a beléjük öntött forró kávé hónapok múlva is forró lenne! Persze ez az árukon is meglátszik). Ez egyrészt nagyon veszélyes, illetve a tartályt is igen erősre kell tervezni.



Lindé-gyártmányú hőszigetelt, nyomásálló tartály cseppfolyós hidrogén tárolására

A folyékony hidrogénnek további „kellemetlen” tulajdonságai is vannak. Mivel viszkozitása töredéke a vízének, képes akár a legkisebb hajszálrepedésen is eltávozni (a gyakorlatban ez azt jelenti, hogy egy hagyományos pohárba beleöntve a folyékony hidrogén „kifolya” a pohár talpán keresztül!). Ha nem használjuk az üzemanyagcellás járművünket, a rendkívül hideg hidrogén a többszörösen hőszigetelt tartály ellenére is elkezd elpárologni, ezt a mennyiséget pedig – a tartály felrobbanását megelőzendő – a szabadba kell engedni. A mai napig nem megoldott ennek a kezelése, főleg, hogy néhány nap alatt a hidrogénmennyiség fele is elillanhat ilyen módon. A jövőben ezt úgy oldanák meg, hogy az eltávozó hidrogént az üzemanyagcellába vezetnék, amely az álló járművön működve akkumulátorokat töltené fel, és indulás után egy ideig ezeket az akkumulátorokat használva menne a jármű. Egy mai tüzelőanyag-cellás autóba 7-8 kg hidrogént lehet betölteni, csak éppen ez a mennyiség 100-120 liternyi helyet foglal el. A nagynyomású tartály pedig nem lehet szabálytalan alakú, mint a hagyományos járművek tankjai, ezért eléggé „helyrabló”. További hátrány, hogy a tüzelőanyag-cellák jelenleg nem képesek szélsőséges hőmérsékleti tartományokban üzemelni (a gyakorlatban -20 °C alatt és 40 fok felett nem tudnak energiát szolgáltatni, bár laboratóriumi körülmények között készítették már -40 fok alatt is működőképes üzemanyagcellát). Mint azt az előzőknél említettük, a hidrogént jelenleg még fosszilis tüzelőanyagokból, jórészt hagyományos (szén)erőművekben termelt árammal állítják elő, majd szintén szénhidrogéneket égető kamionokkal szállítják, ezért – noha felhasználás közben tényleg nem okoz

szennyezést – keletkezése közben ugyanolyan káros, mint a normál üzemanyagok, sőt, sűrítése és cseppfolyósítása rengeteg energiát igényel. Teljesen „null-emissziós” csak akkor lehetne, ha vízbontással állítanák elő, miközben az ehhez szükséges áramot megújuló energiaforrásokat használó erőművekben termelnék meg, a szállítást pedig környezetbarát, szintén ilyen erőművekről feltöltött elektromos járművekkel végeznék. Így egyrészt mindjárt látszik, mennyire is távol vagyunk még egy teljesen szennyezés-mentes, „zöld” társadalomtól, másrészt így már egyáltalán nem biztos, hogy pozitív lenne az üzemanyagcellás hajtás energia-mérlege, ez pedig már több, ígéretes energiahordozó végét is jelentette (most éppen a bioetanol „létjogosultsága” kérdéses ugyanezen okok miatt). A legfejlettebb európai államokban – Dániában és Németországban – egyébként léteznek a fent vázolt hidrogén-előállító helyek, de ezek – pontosan emiatt – csak méregdrágán és nagyon kis mennyiségben tudnak hidrogént termelni, működésüket csak a környezetbarát technológiák után járó állami támogatás tudja biztosítani. A jelenleg üzemelő néhány száz üzemanyagcellás autót és buszt ugyan a hagyományos hidrogéngyárakkal együtt el tudják még látni, de a százmilliós EU-járműparkkal elképzelni sem tudjuk, hogy lehetne gazdaságosan elboldogulni ily módon, arról nem is beszélve, hogy ilyen „luxust” csak nagyon fejlett országok engedhetnek meg maguknak.

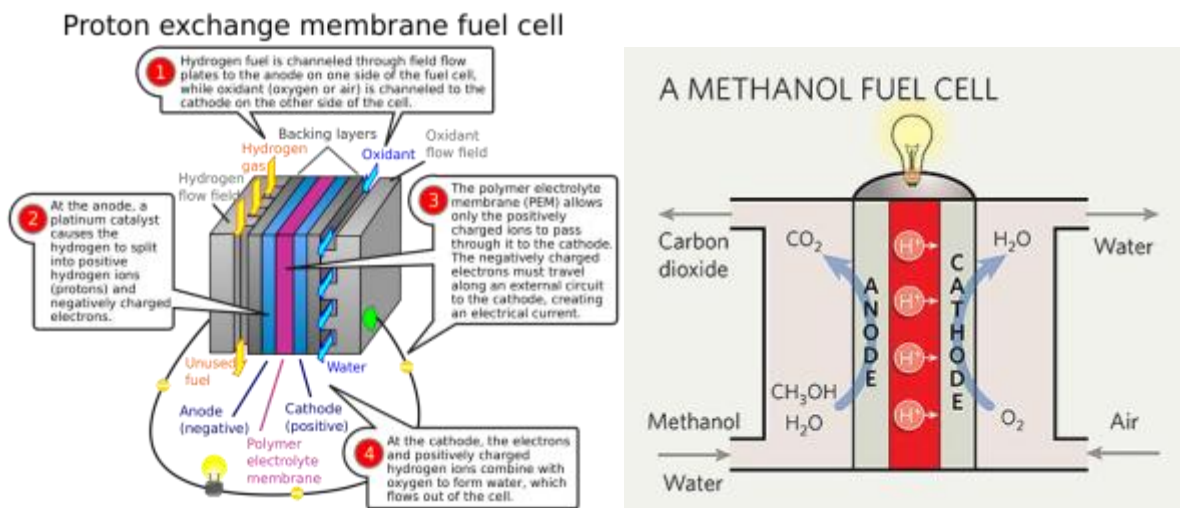


Hidrogénkút Californiában

Az üzemanyagcellák altípusai

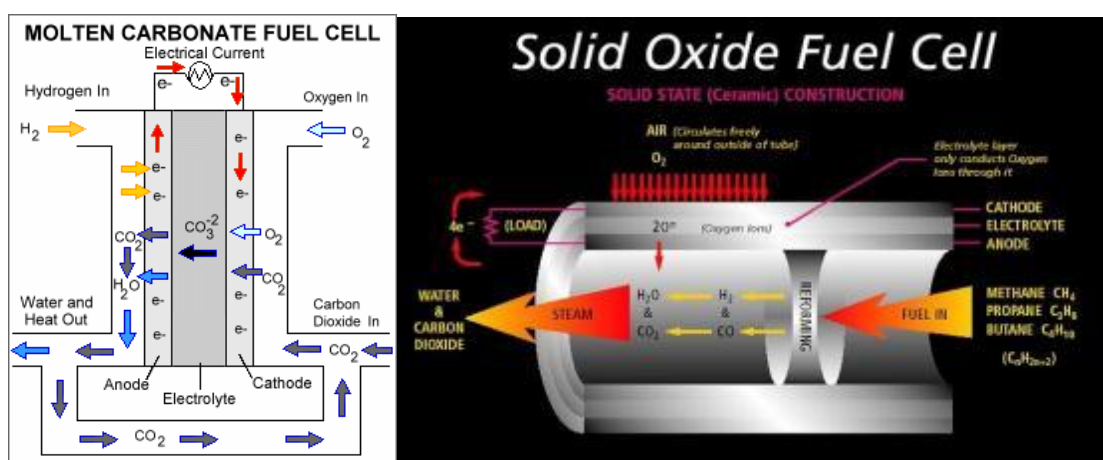
A manapság legtöbbször alkalmazott tüzelőanyagcella-típus az ún. protoncserés membránt használó (PEMFC – Proton Exchange Membrane Fuel Cell), amelynek működése megegyezik a már fentebb vázolttal. Az üzemanyag – hidrogén, metanol, vagy még ritkábban szimpla gázolaj – az anódon ionjaira esik szét (mivel a hidrogén csak egy elektronból és egy protonból áll, ez esetben a megmaradó pozitív töltésű hidrogénion tulajdonképpen egyetlen csupasz proton). Az elektronok ekkor az alacsonyabb potenciálú katód felé indulnak el, eközben keresztülhaladnak a meghajtást végző villanymotoron. A protonok keresztüldiffundálnak a – legtöbbször valamilyen polimerből készült membránon, az elektroliton – majd a katódon újra semlegesítődnek. A rendszer legfontosabb eleme a membrán, amelyet az üzemanyag-

cellában végbemenő reakciónak folyamatosan nedvesen kell tartania. Ezért nagyon fontos, hogy a cellába érkező üzemanyag és oxigén aránya – akár csak a normál belső égésű motorokban – mindig a megfelelő, ún. sztöchiometrikus arány közelében legyen. Túl kevés víz esetén a membrán kiszárad, ettől ellenállása megnő, amitől nagyobb hő keletkezik benne, ezért berepedezhet. Ilyenkor az oxigén és az üzemanyag összetalálkozhat, és a hőtől meg is gyulladhat. Túl sok víz pedig meggátolja, hogy a reakció végbemenjen.



A hidrogénüzemű (balra) és metanolt felhasználó protoncserés üzemanyagcellák működése

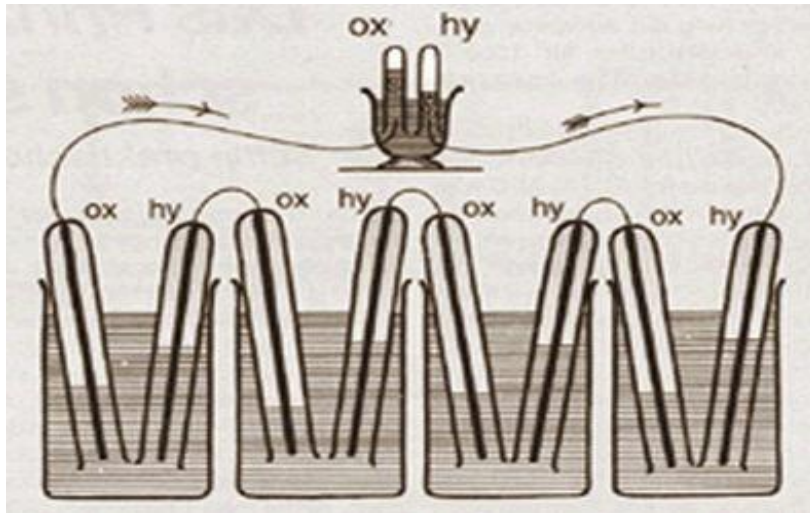
Az üzemanyagcellákat a működési hőmérséklet alapján is fel lehet osztani. A fenti eset a hideg, míg az ún. szilárd oxidos, és olvadt karbonátokkal működő (SOFC és MCFC) változatok a magas hőmérsékletű üzemanyagcellák közé tartoznak. Ezek üzemi hőmérséklete eléri a 600-1000 °C-ot is, miközben a bennük levő elektrolit megolvad, és a reakció elindul. Előnyük, hogy hagyományos olajszármazékokkal is üzemelni tudnak, hatásfokuk a 65-70%-ot is elérheti. Hátrányaik pedig leginkább ebből a magas hőmérsékletből adódnak, ugyanis lassan indulnak el, a hőtűrő anyagok miatt drágábbak, és hamarabb elhasználódnak. Éppen ezért, a forró üzemanyagcellákat a közlekedésben nem használják, a jövőben az otthoni energiatermelők, ún. „házi erőművek” elterjedésében lehet szerepük.



Olvadt-karbonátos (balra) és szilárdoxidos (jobbra) üzemanyagcella, a két leggyakoribb magas hőmérsékletű altípus működése

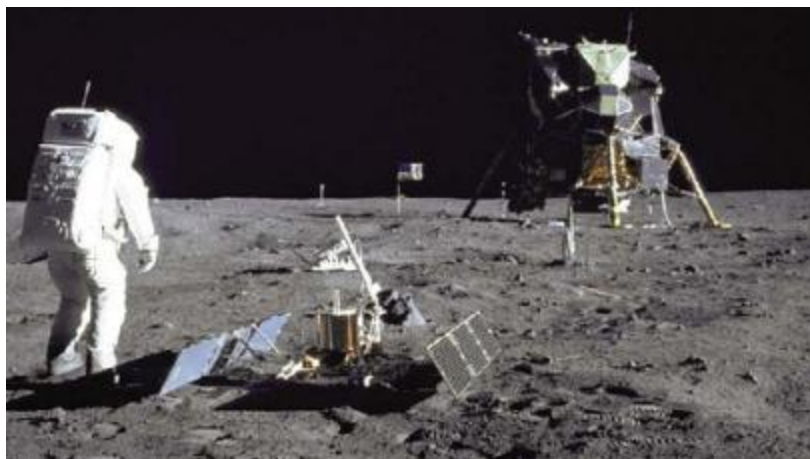
Az űrverseny besegít – az üzemanyagcellák története

A működési alapokat 1838-ban fektette le egy német tudós, Christian Friedrich Schönbein, ezt felhasználva egy wales-i kollégája, Sir William Robert Grove a 1839-ben meg is építette az első, működését tekintve a mai üzemanyagcellákra emlékeztető szerkezetét, amelyben hígított kénsavat használt elektrolitnak. A találmány által szolgáltatott igen gyenge feszültség azonban megakadályozta, hogy elterjedjen.



Az első, kénsavval működő üzemanyagcella terve 1838-ból

Mintegy száz évig nem is nagyon történt előrelépés ezügyben. A II. világháború után, 1955-ben készült el az első protoncserés membránnal működő gép a General Electric-nél, majd 1958-ban ezt továbbfejlesztették; ekkor használták először a platinát, amely katalizátorként növelte a szerkezet hatásfokát. Az akkoriban kiéleződő, Szovjetunió és az USA közötti űrverseny hatalmas lökést adott a technológiának. 1959-ben a Gemini űrhajó már üzemanyagcellákat használt energiaforrásként, mivel ezek a légüres térben is tudtak működni. Ugyanebben az évben készült el az első üzemanyagcellás jármű, egy traktor, aminek 15 kW-os (20 LE-s) motorja sűrített hidrogént használt üzemanyagként. Harry Ihrig készítette el, aki találmányát különböző rendezvényeken is bemutatta, a traktort akár vezetni is lehetett.



A holdraszállások nem valósulhattak volna meg üzemanyagcellák nélkül. Képen az Apollo-11



Ihrig 20 lóerős üzemanyagcellás traktorja 1959-ből

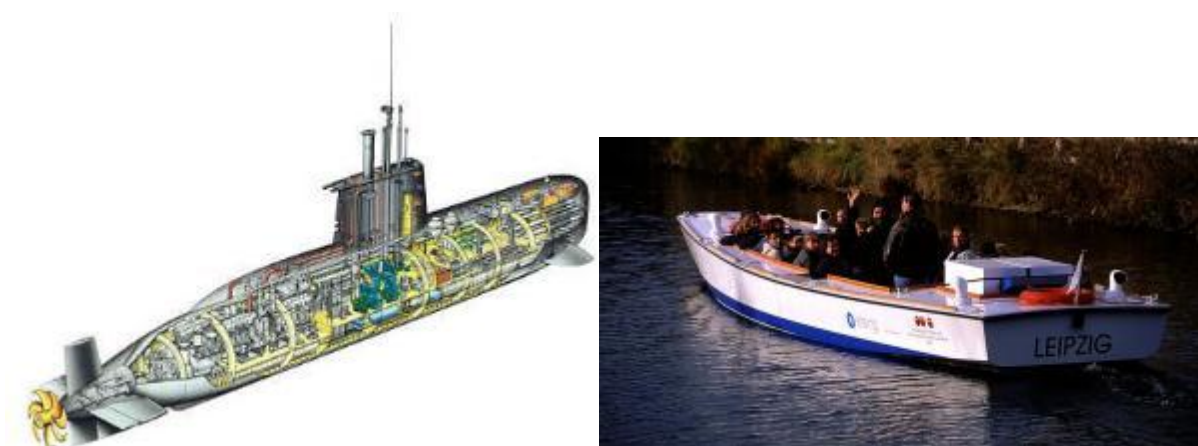
Az üzemanyag-cellák másik előnyét, hogy vizet pufognak ki, az amerikai Pratt & Whitney gázturbina-gyár alkalmazta először. A harmadik világbeli országokban egy ilyen géppel egyszerre lehetne áramot fejleszteni, és a lakók számára vegytiszta ivóvizet biztosítani! Sajnos a szerkezetet magas ára miatt erre a célra valószínűleg soha nem használták, viszont az úrhajókban így oldották meg a személyzet ivóvíz-ellátását. Az első üzemanyagcellás autó 1991-ben jelent meg, ebben az évtizedben szinte minden közlekedési eszközön kipróbálták a hajtást. Ma már rengeteg gyártó kínál üzemanyagcellás autókat (bár nagyon magas áron), és a fejlett országok legnagyobb városaiban is találkozhatunk ilyen elven működő buszokkal. Az üzemanyagcellák igen jó üzemkészsége miatt hajókban és tengeralattjárókon is hódítani kezdett a megoldás, azonban magas ára, és egyelőre kis teljesítménye miatt még várni kell az elterjedésére.



A 2008 óta gyártott Honda FCX Clarity a világ első igazi üzemanyagcellás autója (balra). Teljesítménye 136 lóerő, fogyasztása 1 kg H₂/100 km, költségben feleannyi, mint egy dízelautóé. Az FCX újkori ára 100 ezer euró. Jobbra: Mercedes Citaro FCV tüzelőanyag-cellás busz. A járművet egy 250 kW-os (340 LE) üzemanyagcella által táplált villanymotor hajtja, hatótávolsága 200 km.



Balra fent: utólag üzemanyagcellássá alakított kísérleti villamos. Jobbra fent: A Boeing elképzelése az üzemanyagcellás repülőgépről. Balra lent: HDW Class-212-es üzemanyagcellás tengeralattjáró. Jobbra lent: HYDRA, a világ első tüzelőanyag-cellás hajója, 2003-ból. Teljesítménye 6,3 kW (8 LE).



ÜZEMANYAGCELLÁS VASÚTI JÁRMŰVEK

Mielőtt belevágnánk az üzemanyagcellás vasúti járművek ismertetésébe, le kell szögezni, hogy ebben a fejezetben csak olyan vonatokat vizsgálunk, amelyek kizárólag ebből a forrásból nyerik a meghajtáshoz szükséges energiát. A más energiaforrásokat is használó vasúti járművek a következő fejezetben lesznek tárgyalva.

Az üzemanyagcellák vasúti alkalmazása csak a közelmúltban vált versenyképes alternatívává. Az saját fedélzeti erőgéppel rendelkező elektromos vonatok kevésbé a felsővezeték-kes villanymozdonyok, inkább a dízelek leváltására lehetnének alkalmasak, a gázolajárak emelkedésével ez az időpont egyre inkább eljőni látszik.

Az első fecske - 2002

A tüzelőanyag-cellák első képviselői a vasúti vontatásban kb. 10 éve jelentek csak meg. 2002-ben készült el ugyanis az EERIE nevű, keskenynyomközű bányamozdonya, amely inkább kutatási-fejlesztési célokat szolgált, semmint igazi szállítási feladatokat. A projektet 1999-ben kezdték meg, arra voltak kíváncsiak, hogy a jövő mélyművelésű bányáiban megelőbbek-e az új üzemanyagcellás mozdonyok, mint az addig használt akkumulátoros gépek. Az elkészült kéttengelyes vontató szintén protoncserés cellákkal rendelkezett, legnagyobb

teljesítménye 14 kW (19 LE) volt, tartósan 8 kW-ot (11 LE) tudott leadni. A fedélzeten helyet foglalt még egy 52 cellás, tehát 104 voltos, 48 kWh-t tárolni képes ólom-sav akkumulátor, amelyet az üzemanyagcella akkor töltött fel, amikor nem volt szükség a teljes teljesítményre, „cserébe” az akkumulátor nagy igénybevétel esetén plusz energiát szolgáltatott a vontatómotoroknak. A kompakt üzemanyagcella mindössze 30 kilót nyomott, a vontató tömege 2,5 tonna volt (+1 tonna ballaszt a megfelelő féksúly elérésére). A hidrogént hengeres tartályban tárolták, 3,5 kg fért el belőle a fedélzeten. Ha kifogyott, 1 óra alatt lehetett újra feltölteni, ezután mintegy 8 óra üzemre volt elegendő a tüzelőanyag. Ezek az adatok lényegesen jobbak voltak az akkumulátoros gépeknél, amelyeket 8 órán keresztül kellett tölteni, majd 2 óra után vagy újra konnektorba kellett dugni az akkukat, vagy kicserélni őket teljesen feltöltöttekre. Ezenfelül a nehéz akkuk miatt rosszabb menettulajdonságok jellemezték a gépet, amelynek teljesítménye (7 kW) is elmaradt az üzemanyagcellás vontatóétól. Ez utóbbinak természetesen a legnagyobb hátránya az ára volt, amely miatt csak arra volt alkalmas, hogy bizonyítsa; egyszer majd képesek lesznek leváltani a régebbi technológiákat az üzemanyagcellákkal, de ez az idő legalábbis nem mostanában lesz.



A világ első tüzelőanyag-cellás mozdonya

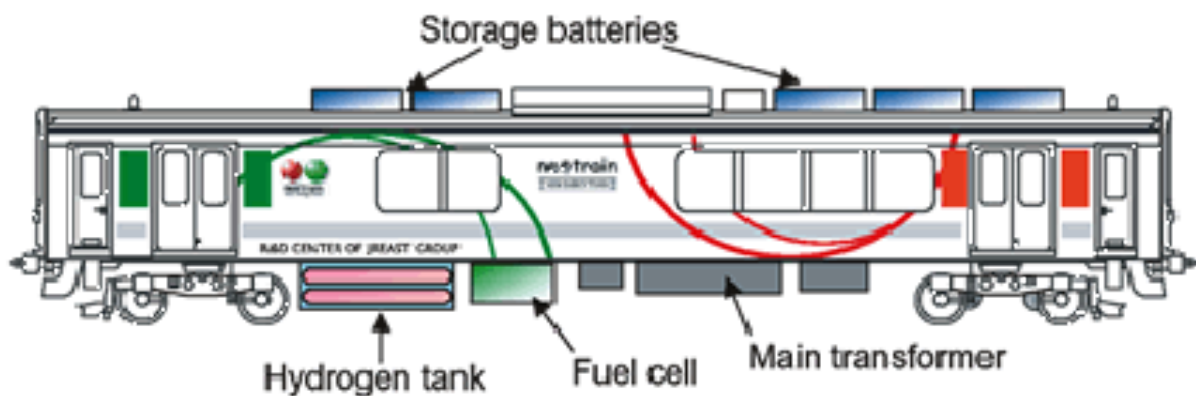
A japán RTRI

Az első, utasszállításra is alkalmas, teljes egészében üzemanyagcellás vonatot 2006-ban készítették el a japán JR vasúttársaság számára. Az RTRI-nek nevezett motorkocsi egy eredetileg dízel-elektromos jármű volt, amelynél a motor és a generátor helyére szereltek be két darab, egyenként 89 lóerős üzemanyagcellát, ezek pedig az eredeti egyenáramú vontatómotorokat látták el árammal. A motorkocsit rekuperációs fékberendezéssel is felszerelték. A gép végsebessége elérte a 100 km/h-t, egy tank hidrogénnel 100 km-t tudott megtenni a

vonat. A vonal, amin szolgálatot teljesített, 26 km hosszú volt, a haszonfékezés segítségével tehát 2-szer tudta megtenni a távot.



A japán üzemanyagcellás motorkocsi (fent) és gépészeti elrendezése (lent)



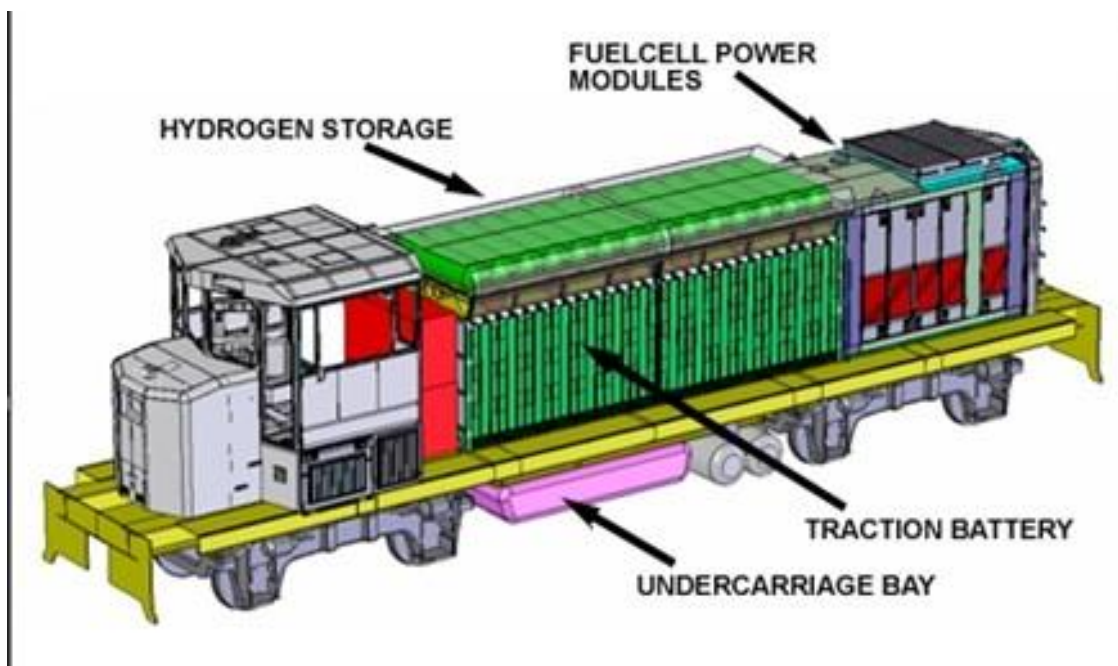
Hydrogen Hybrid – A legmodernebb, legerősebb

Jelenleg egyetlen olyan nagyvasúti mozdonytípus létezik, amely kizárólag üzemanyagcellát használ meghajtásra, a BNSF (Burlington North Santa Fé) amerikai vasúttársaság Hydrogen Hybrid nevű, dízelmozdonyból átépített tolatómozdonya. A munkálatok 2006-ban kezdődtek el, a kész mozdony 2009-ben kezdte meg a próbafutásokat. Az üzemanyagcellás mozdonyt egy 240 kW (326 LE) tartós teljesítményű protoncserés membrános üzemanyagcella hajtja, ez látja árammal a négy egyenáramú vontatómotort. A teljesítmény egyébként rövid időre 1 MW-ra (1360 LE) is emelkedhet, ilyenkor a gépházban elhelyezett ólom-sav akkukat meríti le a mozdony, ezzel néhány percig lehet a megemelt teljesítményt használni.

Ezután, ha nincs szükség az üzemanyagcella összes teljesítményére – mondjuk, mert a mozdony gurul, vagy áll – az akkuk a teljesítmény-tartalékból néhány óra alatt újratöltődnek. Az üzemanyagul szolgáló 75 kg-nyi cseppfolyós hidrogént 14 darab nyomásálló, hőszigetelt hengeres tartályban, 350 bar nyomáson, és -253 fokon tárolják a mozdony dízelmotorjának a helyén, ezen felül az akkumulátorok is itt találhatók. Ezek együttes tömege még mindig kisebb, mint a korábbi motoré, a generátoré, illetve a gázolajtartályé összesen. Emiatt – hogy a típusra meghatározott tapadási- és fékjellemzők megmaradjanak, 9 tonna ballasztot kellett elhelyezni a korábbi tank helyén, hogy tartani lehessen a 130 tonnás szolgálati tömeget. A mozdony használatától függően 100-130 km-t tud megtenni egy tank hidrogénnel. Ezután vagy egy erre a célra kialakított, 160 bar-os töltővagonból 10 perc-, vagy az állomási hidrogénkútból 45 perc alatt újratölthető (ezek az értékek nem különböznek nagyon egy dízel-mozdony tankolási idejétől). Ez a hatótávolság egyébként egy nagyságrenddel kevesebb, mint egy dízelmozdonyé, de mivel a gépet állomási tolatószolgálatban használnák, nem olyan nagy hátrány.



A BNSF Hydrogen Hybrid mozdony (balra fent) 2009-ben, illetve 2008 júliusában, építés közben (jobbra fent). Hozzánk legközelebb foglal helyet az üzemanyagcella, mögötte az akkumulátorok.
Lent: a mozdony gépészeti elrendezése



Emellett, az üzemanyagcellás (és akkumulátoros) mozdonyokat errefelé leginkább környezetvédelmi prioritások hívták életre. Elsődleges céljuk ugyanis nem a hosszútávú fuvarozás lesz, hanem tolató- és rövidtávú szállítás olyan helyeken, ahonnan a dízelmozdonyok ki lesznek tiltva. Néhány amerikai nagyvárosban – délnyugati parton fekvő Los Angeles és elővárosai mindenképp ide tartoznak – ugyanis az egyre vállalhatatlanabb szmoghelyzet miatt azt tervezik, hogy a következő évtizedben kitiltják a dízelmozdonyokat a lakott területekről. Ugyan addig bőven villamosítani lehet az egész állam vasúthálózatát, áramszünet esetén, illetve a tolatószolgálatban nagy hasznát vennék az akkumulátoros és üzemanyagcellás mozdonyoknak. Így mindenképp érdemes tőkét invesztálni a hajtásba, mert egy nap ezek a gépek válthatják le teljesen a belső égésű motorokat a vasúton is.

A közelmúlt újdonságai

2012 májusában helyezték üzembe az AAPL platinabányász cég (Anglo-American Platinum Limited) keskeny nyomtávú üzemanyagcellás lokomotívját. A gép ugyanolyan típusú cellákat használ, mint a Hydrogen Hybrid mozdony. Előnye elvitathatatlan; a mélyművelésű bányában sem a kipufogógázokat eregető dízelek, sem a szikrázó villanymozdonyok nem alkalmazhatók, egy olyan cégnek pedig, amely az üzemanyagcellákhoz elengedhetetlen platinát bányássza, jobban megéri ennek a hajtási módnak az alkalmazása.



Az AAPL bányavállalat üzemanyagcellás bányamozdonya

Az üzemanyagcellák jövője a vasúti vontatásban

Jelenleg tehát itt tart az üzemanyagcella vasúti karrierje, de mint látszik, a legtöbb fejlődés az elmúlt években ment végbe, így szinte hónapról hónapra jönnek elő új fejlesztések. E sorokat is többször kellett átírni, bővíteni a legfrissebb hírek miatt, talán mire az olvasó ideér az olvasásban, már nem is lesznek naprakészek... Az viszont biztos, hogy jónéhány európai, amerikai és ázsiai nagyvárosban van tervbe véve üzemanyagcellás buszok, villamosok és metrók közlekedtetése, ezek az évtized közepére-végére akár valósággá is válhatnak. Hol környezetvédelmi megfontolások miatt, hol kísérletezgetés a fő ok, vagy éppen politikai és kampány érdekek áll(hat)nak a háttérben. Akárhogy is, a vasúti közlekedésnek ebben a válfájában várható talán a legtöbb esemény az elkövetkező években!

Felhasznált képek és források

<http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-11809>

http://www.fueleconomy.gov/feg/fcv_pem.shtml

<http://www1.eere.energy.gov>

<http://www.greenspec.co.uk>

<http://www.aerospace-technology.com>

http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell

<http://www1.eere.energy.gov>

<http://gas2.org>

<http://www.machine-history.com>

<http://news.mongabay.com>

http://en.wikipedia.org/wiki/Apollo_11

<http://www.sciencedirect.com>

<http://ecomodder.com>

<http://theirearth.com>

<http://evworld.com/news.cfm?newsid=26708>

<http://evworld.com/news.cfm?newsid=15709>

<http://www.ecofriend.com/fuel-cell-powered-locomotive-makes-silent-mining-world.html>

<http://www.fuelfromthewater.com/transportation.htm>

<http://green.autoblog.com>

<http://www.technologytell.com>

<http://www.fuelcellpropulsion.org/projects.html>

TÖBBES ÜZEMŰ MOZDONYOK ÉS MOTORKO- CSIK



VEGYES MEGHAJTÁSOK

Bevezetés

Az eddig bemutatott hajtások megegyeztek abban, hogy voltak előnyeik, amelyek bizonyos területen nélkülözhetetlenné tették őket, de mindig akadtak olyan hátrányaik is – ha más nem, az áruk – amelyek más területeken viszont megakadályozták az elterjedésüket. A dízelek vezetékek nélkül is elboldogulnak, de sokat fogyasztanak, erőművüket magukkal kell vinniük, nem közlekedhetnek zárt helyeken és hangosak is. A villanymozdonyok halkak, tiszták és jó a hatásfokuk, viszont költséges és drága felsővezetéseket igényelnek, amelyek ráadásul még veszélyesek is, mert szikráznak és agyonvágthatják a túl közel merészkedőket. Az akkumulátoros gépekhez ugyan nem kellenek vezetékek, és halkak is, csak éppen méregdrágák, nehezek és kicsi a hatótávjuk... ugyan a vasúti vontatás évszázadai során mindegyik hajtásnemnek kialakult a megfelelő területe, hogy lehetne olyan mozdony kitalálni, amelyik bárhova, bármikor jó és esetleg nem is kerül többbe, mint amiket leváltanánk vele? A válasz: sehoggy.



Vajon létezik olyan lehetőség, amely mindhármat kiválthatja?

Vigasztalásként viszont el kell árulnunk, hogy noha ilyen mozdony nem létezik (vagy ha létezne, senki se venné meg), mégis van módja az univerzális, (szinte) bárhova alkalmas lokomotívok építésének. A válasz kis gondolkodással kitalálható, a gépészetben jártasak számára talán nem is meglepő: össze kell „házasítani” a hajtásokat. Villanymozdonyok, melyek a felsővezeték végén csak lehúzzák áramszedőjüket, és a fedélzeti dízelmotor és/vagy akkumulátor által hajtva haladnak tovább. Dízelek, amelyek fedett területre érve szintén akkuk, vagy szuperkondenzátorok segítségével végzik el az ottani munkát. Gőzösök, amelyek szénhiányos időkben a villamos felsővezetékek, vagy akkumulátorok (!!!) segítségével fejlesztenek gőzt! A dolgozat valószínűleg leghosszabb és legérdekesebb fejezetében a többes hajtású mozdonyokkal, motorkocsikkal és egyéb vasúti járművekkel foglalkozunk.

Mi a jó a vegyes hajtásokban?

Kettő vagy több, különböző tulajdonságú elem vagy rendszer összeházasítása természetesen nemcsak a közlekedésben vagy a műszaki tudományok területén hozott hasznot. A két elem eltérő jellemzői révén más előnyökkel bírhat, és ezek a különböző előnyök nem egyszer pont a másik hátrányát semlegesíthetik. Vagy ha nem, egymást erősítik, ezzel a hátrány elenyészik hozzájuk képest. Persze ez nem garantált, rengeteg példa van mind a technika- mind az egyetemes történelem során két olyan dolog házasítására, amelyekről később kiderült, nem volt jó ötlet.



Fent: Convair-112 repülő autó 1947-ből, amely az akkoriban már eléggé zavaró dugókat volt hivatott megszüntetni és egyben a jövő közlekedőeszközének szánták: sokat fogyasztott, nehéz volt, kényelmetlen üzemeltethetőségű és nem utolsósorban drága (a kocsí tetején látható sárkányszerkezetet le lehetett szerelni). Lent: MÁV Ikarus 260, 1986-ból. A buszra vonatkerekeket- és fékeket szereltek, a kormány szerkezetet kiiktatták. Mindössze ennyi változtatást eszközöltek a járművön, amelynek úttartása nem volt jó, és túl könnyűnek bizonyult a vasutakra (emiat nehezen tudott megállni). A buszt nem sokkal később visszaalakították.



A kombinálást meg kell tehát gondolni, nem csak emiat, hanem mert lehet, hogy a két elem ugyan képes lesz többé-kevésbé a kényelmetlen hátrányokat kiküszöbölni, de közben éppen az eredeti összetevők előnyei vesznek-, vagy satnyulnak el annyira, hogy maga az elgondolás nem fogja megérni, mert jobban járunk, ha külön-külön vesszük meg a kettőt. Ha pedig már ott tartunk, hogy mi éri meg, és mi nem; a legjobb megoldás is elbukik, ha túl drága, vagy éppen csak rossz helyen és/vagy időben jelenik meg, és nincs, aki megvegye. A technikatörténetben nem is kell sokáig keresni, hogy erre példát találjunk.

Mi számít „vegyes hajtásnak”?

Mielőtt belevágnánk a különböző vegyes hajtások ismertetésébe, először meg kell határozni, hogy mit is tekintünk – pontosabban a szerző mit tekint – jelen esetben többes hajtásnak, ugyanis ez elsőre nem egészen egyértelmű. Ha úgy vesszük, vegyes hajtás egy dízel-elektromos mozdony is, hiszen dízelmotor van benne, de maga a meghajtás elektromossággal történik. Igen, csak hogy a vontatómotorok az áramot a dízelmotor által forgatott generátorból nyerik, így közvetve mégis a tankban tárolt gázolaj energiája hajtja őket, illetve ha a dízelmotor áll, nem képesek önállóan mozgatni a mozdonyt. A mostani rész tehát csak olyan hajtásokat tekint többesnek vagy vegyesnek, amelyeket:

- két (vagy több) teljesen különböző rendszer hajt, amelyek képesek egymástól függetlenül is működni (ez nem zárja ki azt, hogy akár együtt, vagy egymást segítve is dolgozhassanak)
- két (vagy több) rendszer hajt, de ezek nem teljesen függetlenek egymástól, ennek ellenére képesek egyedül hajtani a járművet (a közös meghajtás itt sem kizáró ok)
- a fentieken kívül olyan hajtás, amelyik valamilyen különlegessége miatt nem „fért be” a dolgozatban tárgyalt többi kategóriába, de annyira érdekes, hogy érdemes említést tenni róla

Ennek megfelelően tehát a dolgozatban nem lesz szó a dízel-villamos hajtásról (arról az első fejezetben egyébként is lehet olvasni), hacsak a vontatómotorok nem képesek önállóan, akkumulátorból táplálva hajtani a mozdonyt. Nem lesznek kitárgyalva olyan villanymozdonyok, amelyek több áramneműek, vagy többféle vezetékrendszerrel is képesek üzemelni (pl. alsó- és felsővezetékéről, vagy felsővezetékéről és harmadik sínről), valamint olyan gőzmozdonyok sem, amelyek tervezésüknél fogva többféle tüzelőanyaggal is tudnak üzemelni.

A fejezetben a legkevésbé különleges változatokkal kezdjük az ismertetést, úgy haladunk az egyre rendhagyóbb, ritkább megoldások felé.

TÖBBES ÜZEMŰ VASÚTI JÁRMŰVEK

Dízelmotor + akkumulátor

Régóta nagy igény mutatkozott arra, hogy egy dízeljármű rövidtávon a belső égésű motort leállítva is képes legyen közlekedni. Így egyrészt a jobb hatásfokú villanymotorral energiát spórolunk meg, másrészt helyi károsanyag-kibocsátás nélkül tudunk haladni (ami pl. fedett területen igen előnyös), harmadrészt pedig kisebb a zajártalom is. Az ehhez szükséges akkumulátorok fejlettsége azonban csak a közelmúltban engedte meg, hogy kereskedelmi forgalomba is kerüljenek olyan járművek, amelyek – egyelőre még ha rövid úton is – de a dízelmotor használata nélkül is haladhatnak. Ennek a környezetvédelmi megfontolásokon kívül az az előnye, hogy behajthatnak olyan helyekre is (persze csak elektromos módban), ahonnan a normál járművek ki vannak tiltva (tűzveszélyes helyek, környezetvédelmi területek). A megoldás hátránya a már említett – elektromos módban kis hatótávolság, tehát a kettős hajtásnak nincs igazi előnye a sima dízeles, vagy az tisztán elektromos meghajtáshoz képest – illetve, hogy a modern kombinált hajtóegységek annyira drágák, hogy csak a kisebb fogyasztásból soha nem termelik vissza a felárat. Az ilyen járművek általában nehezebbek is szimpla társaiknál és kevesebb hely is van bennük a nagyobb hajtómű miatt. Az akkumuláto-

rok fejlődésével, és egyre kedvezőbb árfekvésével ez a hátrány kezd eltűnni, de messze van még az az időszak, amikor egy ilyen megoldás versenyképes lesz a tisztán elektromos, felsővezetékes meghajtáshoz képest.

A dízelhibrideknek három alfaja van: az első az ún. „mild” (lágy) hibrid, amikor a villanymotor nem képes önmagában mozgatni a járművet, csak bizonyos üzemállapotokban, például nagy terheléseknél a dízelmotor munkáját segíti (ez a vasút területén nem használható, mivel a dízelmotor ritkán hajtja közvetlenül a tengelyeket). A másodiknál a villanymotor képes önállóan is hajtani, de ha az akkuk lemerülnek, újra a dízelmotornak kell átvennie ezt a szerepet, illetve újratölteni a telepeket (soros vagy szekvenciális hibrid). A harmadik megoldásnál az akkumulátorokat lehet külső forrásból is tölteni (plug-in hibridek).



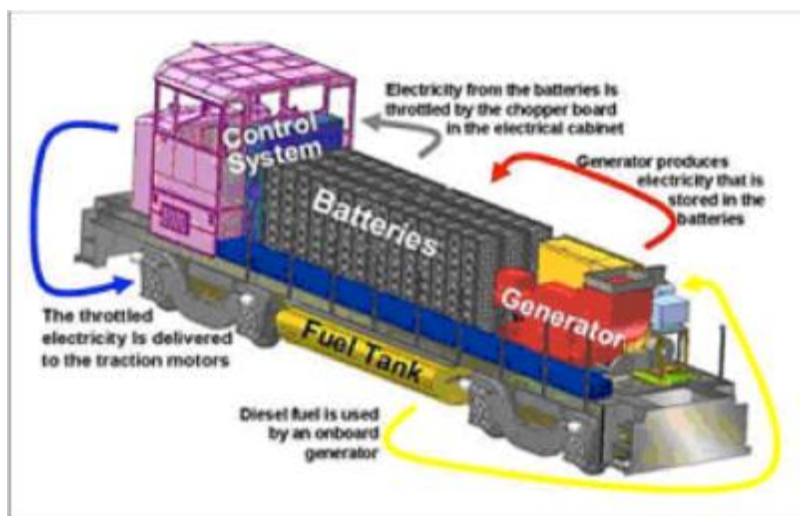
Balra fent: Peugeot 3008 Diesel Hybrid4, a világ első sorozatgyártású dízelhibrid személyautója. Az összkerekes jármű hátsó kerekeit egy 37 lóerős villanymotor forgatja, az elsőket egy 163 lóerős turbódízel, norma szerinti fogyasztása 3,9 l/100 km. Jobbra fent: Volvo 7700 Hybrid autóbusz. Az eredeti változat 9 literes motorja helyett ebben csak 5 literes található, kiegészítve Li-ion akkumulátorokkal. Fogyasztása 30 %-kal kisebb, miközben csak 100 kg-mal nehezebb. Lent: az amerikai Peterbilt gyár hibrid teherautó-palettája



Dízelmotordonyok és motorkocsik akkumulátoros hajtással (dízelhibridek)

Az akkumulátoros segédhajtású hibrid dízelmotordonyok szintén csak nemrég, a modern akkuk elérhetővé válásakor jelentek meg a síneken. A gépek hajtási sémája egyszerű: az alapvetően dízel-elektromos motordonyok vontatómotorjait normál üzemben társaihoz hason-

lóan a dízelmotor hajtja meg, elektromos üzemben viszont a fedélzeti akkumulátorokról kapják az energiát, így képesek néhány kilométert a belső égésű motor használata nélkül is haladni. A dízel, miután újra elindult, a hajtás mellett az akkuk töltéséért is felelős.



Egy dízelhibrid mozdony szerkezete. Látható, hogy sokkal kisebb dízelmotor is elegendő, ám az akkumulátorok rengeteg helyet foglalnak.

Csehszlovák atyafi: Az első dízelhibrid

A dízelhibrid mozdonyok első képviselője 1986-ban készült el az akkori Csehszlovákiában. A négytengelyes kísérleti gép egy 260 lóerős dízelmotorral volt felszerelve, és ólom-sav akkumulátorokkal, amelyeket a dízel menet közben a mozdony hajtása mellett tölteni tudott. Teljesen feltöltve az akkuk további 230 LE-vel dobták meg a mozdony összteljesítményét. Az egyedi gép a Csehszlovákia ma Csehországhoz tartozó területén, Olomouc városában állomásozott. A kielégítő eredményeknek köszönhetően szóba került a sorozatgyártás is, de ez több ok miatt nem valósult meg. Egyrészt a keleti blokkban nem volt olyan gyár, amelyik megfelelő akkumulátorokat tudott volna nagy mennyiségben gyártani, illetve a 80-as évek végére elszegényedő országban pénz sem volt már ilyen célokra. Az 1989-es rendszerváltás pedig végképp eltörölte az ilyen törekvéseket.

Az első komoly gyártmány: Railpower GG20B „Green Goat”

Az első sorozatgyártású dízelhibrid mozdony a 2004-től gyártott Railpower GG20B típusú „Green Goat” (Zöld kecske) becenévű gép volt. A dízel erőforrás egy – a dízelmozdonyok körében parányi, mindössze 8,8 literes – 300 lóerős, soros hathengeres, leginkább kis-teherautókon és munkagépekben használt Caterpillar C9 típusú motor. Ez a gép a nagyméretű fedélzeti ólom-sav akkumulátorokkal együtt hajtja meg a négy darab, összesen 2000 lóerős váltóáramú aszinkron vontatómotort, tehát a dízelegység itt csak kiegészítő szerepet tölt be. Az akkumulátorokat külső forrásból is fel lehet tölteni, bizonyos szint alatt pedig beindul a dízel aggregát, amely a legkedvezőbb fordulatszámra járva újra hadra fogható állapotba hozza az akkukat. A 130 tonnás „Green Goat” maximális sebessége 100 km/h, fő profilja az állomási tolatószolgálat, de ezzel a sebességgel kisebb személy- és tehervonatok továbbítása sem okoz neki nehézséget. A dízelmozdonyt a 9500 literes tartállyal és megfelelő időnként újratöltve nagyon ritkán kell megtankolni, a hálózatról töltve pedig átszámított fo-

gyasztása töredéke egy ugyanilyen teljesítményű hagyományos dízelmozdonynak, ezen felül tiszta és csendes, de vontatási teljesítménye mégse marad el más gépektől. A mozdony károsanyag kibocsátása így 90 %-kal, gázolajfogyasztása ideális esetben 60 %-kal kevesebb, mint egy 2000 lóerős dízelmozdonyé! Ezekre az érdekere több vasúttársaság is felfigyelt; 2005 óta közel 60 darabot adtak el a gépből, köztük az amerikai hadseregnek is. A mozdony egyébként többek között egy teszt is volt annak kiderítésére, hogy mennyire van igény a dízelhibridekre. Megfelelő érdeklődés esetén ugyanis a gyártó kanadai RailPower egy egész mozdonycsaládot fejleszt ki az akkumulátoros dízelmozdonyokból. További érdekesség, hogy az itt bemutatott "Green Goat" kocsiszekrénye ismerős lehet a dolgozatot figyelmesen olvasóknak: az előző fejezetben bemutatott Hydrogen Hybrid üzemanyagcellás mozdony ugyanezt a karosszériát használja, csak ott a nagyobb akkumulátorok és a hidrogéntartályok miatt magasabb géptért kellett kialakítani.



A RailPower "Green Goat" dízelhibrid (előtérben)

A GE válasza: GM-EMD „Ecomagination” – 200 tonna zöld erő

A legnagyobb dízelmozdony-gyár, a General Electric (GE) sem akart lemaradni. 2007-ben mutatta be „Ecomagination” (az angol „economical” – gazdaságos és az „imagination” – képzelet szavak összevonásából) névre keresztelt akkumulátoros dízelmozdony típusát. A 207 tonnás mozdonyban, egy GM-EMD GEVO-12 típusú, 12 hengeres, négy turbófeltöltős dízelmotor teljesít szolgálatot 2400 lóerős teljesítménnyel (az eredeti 16 hengeres helyett). A fedélzeten nagyméretű NiMH akkumulátorok, és fékezéskor energiát visszatápláló rendszer is található. Ez – ha a helyzet úgy kívánja – az akkuk segítségével +2000 lóerőt tud szolgáltatni néhány percre, ami jól jöhet, ha mondjuk egy több ezer tonnás tehervonatot kell megindítani emelkedőn. A cég szerint egy ilyen dízelmozdony évente feleannyi nitrogén-oxidot bocsát ki, mint hagyományos társai, és 160 háztartás fogyasztásának megfelelő áramot lehet

megtakarítani az energia-visszatápláló rendszerrel. A GE szintén tervez a jövőben egy környezetbarát, akkumulátoros segédhajtású dízelmozdonyokból álló családot.



General Electric "Ecomagination"

„Hayabusha” a síneken: BR Class-43

Angol-japán kooperációval készült 2007-ben egy brit BR Class-43-as nagysebességű dízel-elektromos motorvonatból a „Hayabusha” (Sólyom) névre keresztelt dízelhibrid tesztjármű. Az egyébként a világ leggyorsabb (200 km/h utazósebességű) dízelhajtású vonatának motorkocsijába 48 darab, egyenként 1 kWh energia tárolására alkalmas, Hitachi gyártmányú Li-ion akkumulátort, új dízelmotort és energia-visszanyerő berendezést építettek. A vonat 30 km/h-ig képes kizárólag akkumulátoros üzemben haladni, illetve fékezéskor az akkumulátorok töltődnek. A várható üzemanyag-megtakarítás elérheti a 20 %-ot is, bár a mintegy 1 tonnás akkumulátorok még nagyon drágák, illetve élettartamuk is mindössze 10 év. Az akkukat gyártó Hitachi reméli, hogy amennyiben a több éves tesztprogram megfelelő eredménnyel zárul, még több vasúti akkumulátor gyártásában játszhat szerepet.



Az angol-japán kooperációban készült "Hayabusha" akkumulátoros dízel motorvonat

A savannah-i dízel-villamos

A dízelhibridek nemcsak a nagyvasúton, hanem a városi vasutak területén is előfordulnak. Az USA-beli Georgia államban található Savannah városa megvásárolt néhányat az ausztráliai Melbourne kiöregedő, W-osztályú villamosai közül, és egyet 2008-ban biodízel-akkumulátoros üzeművé alakított át, ezzel az általa kiszolgált vonalon le lehetett bontani a felsővezetékét. 2009-től a jármű menetrendi forgalomban is részt vesz.



A biodízel meghajtású savannah-i "villamos"

Magyar siker: a lillafüredi kisvasút „hibridesített” Mk48-asa

Számunkra talán a legfontosabb a 2011 novemberétől a magyarországi Lillafüredi Állami Erdei Vasúton (LÁEV) szolgáló Mk48-as keskenynyomközű dízel-akkumulátoros mozdony. A felújításakor éppen 50 éves, 760 milliméteres nyomtávú, négytengelyes gép eredetileg dízel-hidraulikus meghajtású volt, benne egy 200 lóerős, hathengeres Rába dízelmotor teljesített szolgálatot. A mozdony üzemének nagy részét a kecskeméti vonalon töltötte, ám a kisvasút felszámolásakor selejtezésre került.



A 2007-ben selejtezett Mk48-2021 donormozdony

A lillafüredi vasút 2010-ben nyert 1,2 millió eurót korszerűsítési célokra, ezt pedig a kismozdony hibriddé alakítására költötte el. Az eredeti motor és hajtómű helyett egy új, 230 lóerős, hathengeres Cummins turbódízelt kapott a mozdony, amely egy 145 kW-os (200 LE) váltakozóáramú generátort hajt meg. A fedélzeten található még egy 400 voltos, nagy tárolóképeségű lítium-vasfoszfát akkumulátor is, amely önmagában is képes a mozdonyt mozgatni. A generátor által termelt áram két, összesen 130 kW-os (175 LE), vízhűtéses, állandó mágneses szinkron vontatómotort táplál meg, ezek kardántengelyeken keresztül hajtának egyenként egy forgóvázat. A teljesen elektromos, mikroprocesszoros vezérlésű mozdony három üzemmódban használható: az egyik a dízel-elektromos, ilyenkor hagyományos dízelmozdonyként viselkedik. A másik a hibrid, amelynél a dízelmotor és az akkumulátor együtt hajtja a vontatómotorokat (a motormenedzsment az aktuális viszonyoknak megfelelően választja meg, milyen arányban), illetve az elektromos, amikor a dízelmotor áll, és a hajtás kizárólag az akkumulátorok által történik. A gép maximális sebessége 50-, engedélyezett sebessége 30 km/h. A hegyvidéki vonalon emelkedőn felfelé az akkumulátorok feltöltéséig dízel, utána hibrid, majd lejtőn lefelé akkumulátoros üzemmódban halad. A gép képes fékezéskor energiát is visszatáplálni, ez egyben azt is megakadályozza, hogy a lejtőn a vonat túlságosan megszaladjon. A lassan egy éves üzemidő alapján megállapítható, hogy a hibrid dízelmozdony használata mintegy 30 %-os gázolaj-megtakarítást eredményez egy nem átalakított Mk48-ashoz képest, ezen felül az elektromos meghajtás sokkal megbízhatóbb a hidraulikusnál. A sikeres eredményeknek köszönhetően 2012 nyarán megkezdtek egy másik, a szilvásváradai kisvasúton dolgozó Mk48-as átalakítását is, ez 2013-ban lesz kész, és lehet, hogy jövőre egy, a Széchenyi-hegyi Gyermekvasúton dolgozó Mk45-ös gép is hibridhajtást kap. Az átalakítás egyébként költséghatékony módja a sajnos nagyon rossz állapotban levő magyar kisvasutak fellendítésének, mert ilyen anyagi helyzetben egy több százmilliós új mozdony vásárlása szóba sem jöhet, ellenben a felújított gépek még 20-30 évig biztosan üzemben tarthatók lesznek. Az Mk48-asok eredeti hidraulikus meghajtásának fenntartása az elmúlt években már nagyon sokba került, és a számítások szerint egy új akku ára nem fogja meghaladni azt az összeget, amelyet ugyannyi idő alatt egy felújítatlan mozdony hidraulikaolajára és egyéb szervizköltségeire költenek.



A felújított mozdony 2010-ben

Oroszország

Az orosz vasutak 2011-ben egy kisméretű dízel-akkumulátoros mozdonytípust helyezt üzembe. A kismozdonyban egy mindössze 82 lóerős dízelmotor generátoron keresztül tölti fel az összesen 630 Ah töltést tárolni képes Li-ion akkumulátorokat, amik két darab, összesen 240 kW-os, azaz 330 lóerős vontatómotort hajtanak meg. A mozdonyból később nagyobb, 400 kW-os (550 LE-s) változat is elérhető lesz. Az akkumulátorokat egyébként külső forrásból is fel lehet tölteni. A mozdonyt kis teljesítménye miatt kevésbé a vonali, inkább az ipari és tolatószolgálatban fogják alkalmazni.



Az orosz dízelhibrid

Japán

Japánban az állami vasúttársaság teherszállító ágazata (JR Freight) 2012 februárjában vette állományba első, dízel-akkumulátoros mozdonyát. A gépek a már meglévő, D300-as típusú lokomotívok átalakított változatai voltak (hibrid mivoltuk miatt ezek az új gépek a HD300-as jelölést kapták). A mozdonyokban egy 680 lóerős dízelmotor foglal helyet, ez tölti fel a Toshiba-gyártmányú Li-ion akkumulátorokat. A motor csak akkor működik, ha az akkuk alacsony töltöttségi szintje ezt indokolja. A 4 tengelyes, 60 tonnás mozdony akkumulátoros módban akár 110 km/h-s sebességgel is képes haladni, miközben nitrogén-oxid kibocsátása harmada a csak dízelmotorral felszerelt változaténak, zajszintje pedig 22 dB-lel alacsonyabb. A tolatómozdony szolgálati helye a tokiói teherpályaudvar, ahova a jövőben egyébként újabb egységek érkeznek a gyártól. 2015-től a vasúttársaság dízelhibrid motorvonatok állományba vételét vette tervbe. Ezek nem igazi hibridek ugyan – az energia-visszatápláló rendszer csak a világítás, vezérlés és a klíma számára képes áramot szolgáltatni, ezzel hozzávetőleg 10-15 %-kal lehet csökkenteni a fogyasztást – megrendelésük apropója ugyanaz: költségcsökkentés és környezetvédelem.



JR HD-300

Németország: az Alstom dízelhibrid tolatómozdonya

A világhírű – többek között az új budapesti metrószerelvényeket és a francia TGV-ket is gyártó – Alstom 2006-ban mutatta be a saját dízel-akkumulátoros tolatómozdonyát. A német V100-as típusú négytengelyes dízelmozdony átépítésével nyert típusban egy kisméretű, hathengeres, 340 lóerős Deutz dízelmotor teljesít szolgálatot nikkel-kadmium akkumulátorokkal kiegészítve. Ezek segítségével rövid ideig a teljesítmény akár 880 lóerőre is növelhető. A mozdonyok 40 %-kal fogyasztanak kevesebbet egy hasonló dízelgépnél. 2012 júniusától 2018 végéig a DB 5 darabot lízingel ezekből a gépekből, mert az akkumulátoros üzemre szükség van egy olajfinomító tűzveszélyes területeinek kiszolgálására.



Az Alstom-tolatómozdony

A dízelhibridek jövője

Az akkumulátoros dízelek tehát már kezdenek elterjedni, igazi hegemoniáról még jó ideig nem beszélhetünk. Az akkumulátorok olcsóbbá válása és a gázolajárak emelkedése nyomán azonban egyre több helyen jelenhetnek meg ott, ahol túl drága lenne felsővezetéseket építeni, vagy tisztán akkumulátoros vonatokat üzemeltetni.

Külső táplálású villanymotor + akkumulátor

A vezetékről táplált elektromos járművek legnagyobb hátránya, hogy nem távolodhatnak el az áramforrástól, valamint ki vannak szolgáltatva annak, hogy az elektromos rendszer valami miatt működésképtelenné válik. Ez azért bosszantó, mert az üzemzavar sokszor csak egy rövid szakaszt érint, de az éppen itt tartózkodó jármű attól még ugyanúgy nem tud továbbmenni, és ezzel el is zárja az utat a többi egység előtt. Ezek a hátrányok sok bonyolalmat okoztak már a vezetékről hajtott járművek történetében, de kiküszöbölhetőek lennének, ha az adott gép képes lenne rövidebb utakon külső megtáplálás nélkül is közlekedni. Ez a megoldás régóta nem titok a mérnökök előtt, de az akkumulátorok fejlettsége sokáig nem tette lehetővé (vagy csak igen drágán), hogy a valóságban lehessen ilyen járművekkel közlekedni. A közelmúltban – főleg a viszonylag könnyű, NiMH és Li-ion akkumulátorok megjelenésével – egyre több helyen találkozhatunk akkumulátoros (ún. önjáró) segédhajtású, de alapesetben vezetékről üzemelő elektromos járművekkel. Az ilyen gépek lényege, hogy a jármű (felső)vezetékről is üzemelhet, vagy onnan töltheti magát, de képes a fedélzeti akkumulátorok által tárolt energiával is haladni. Az önjáró elektromos járműveknek szintén több alfaja létezik, aszerint, hogy az akkumulátorok mennyire játszanak központi szerepet a mozgásukban. A legegyszerűbb manapság már szinte minden trolibuszon megtalálható; a busz alapesetben vezetékről üzemel, de kisebb üzemzavarok, vagy olyan forgalmi akadály esetén, amelyiket az áramszedőkkel nem lehet kikerülni, akkumulátoros üzemre vált. Ezután – ha újra feszültség alá ér – felengedi az áramszedőket, és ismét normál troliként halad tovább, miközben a lemerült akkumulátorokat újratölti.



A 2012 őszen forgalomba állt 33 zürichi duplacsuklós önjáró troli egyike. A 24 méteres buszok 1,5 kilométert felsővezeték nélkül is képesek megtenni.

Ezek a gépek viszonylag kicsi akkukkal vannak felszerelve, mindössze néhány kilométert képesek csökkentett sebességgel megtenni. Ezáltal kikerülhetők az egyszerű forgalmi akadályokból, rövid áramszünetekből adódó krízishelyzetek, és a kicsi akkumulátorok miatt túl nagy felára sincs ezeknek a gépeknek. A másik csoportot az alapvetően akkumulátoros járművek alkotják. Ezek nagyméretű telepekkel rendelkeznek, amelyekkel viszonylag nagy távolságokra képesek eljutni. A gép csak akkor csatlakozik külső áramforráshoz, ha az akkumulátorok túlságosan lemerültek, majd általában a feltöltésük befejeztével le is csatlakoznak, bár az akkuk kímélése végett haladhatnak tovább is felsővezeték alatt. Ezek tehát tulajdonképpen olyan akkumulátoros járművek, amelyeket menet közben is lehet tölteni, nem kell konnektornak lenni a közelben. A gyakorlatban ezek olyan – általában kiszolgáló – szállító-

eszközök, amelyek a feladataik sajátosságai miatt (tartósan alagutakban dolgoznak, tűzveszélyes, vagy rövid szakaszokon vezeték nélküli helyeken járnak) nem lehetnek dízelmotorosak, de pályájuk bizonyos pontjain lehetőség van a töltésre vezetékről is. Metrók és mélyművelésű bányák kiszolgáló kocsijai, olajfinomítók és egyéb tűzveszélyes helyek szállítóeszközei tartoznak ide. Ahogy a dízelhibrideknél láttuk, a fő profil itt sem a nagy távolságokon tiszta elektromos üzemelés, hanem inkább az, hogy a gép rövid szakaszokon képes legyen akkumulátorokkal közlekedni. Így nem kellene hatalmas akkuk sem, aminek köszönhetően a járművek ára is elfogadható szinten marad. Utóbbinál fogva az önjáró elektromos járművek kevésbé a nagyvasutak, inkább az városi, elővárosi és a keskenynyomtávú ipar-, vagy épületen belüli vasutak számára jelentenek igazi előnyt.

Akkumulátoros (önjáró) villanymozdonyok, vasúti járművek

A (felső)vezeték nélkül is közlekedni képes villanymozdonyok jóval a dízelhibridek előtt megjelentek, eredetük még a dízel-villany-akkumulátor „formátumháború” idejére nyúlik vissza (lásd Akkumulátoros vasúti járművek fejezet – Akkumulátorok és hagyományos mozdonyok – melyik a jobb, miért? c. szakasz). Ekkor ugyanis amellet, hogy a három vontatási nem előnyeit és hátrányait hasonlították össze az adott kor tükrében, próbálkoztak a hajtások összeházasításával is, hátha a három valamilyen kombinációja jelenti majd a legjobb alternatívát. Az akkoriban épp csak elterjedni kezdő villanymozdonyok esetében elég riasztó volt, hogy az összes érintett vonalat drága, csúnya és sérülékeny felsővezetékekkel, alállomásokkal kell ellátni, még a gőzmozdonyokra „méretezett” és emberi erővel ásott alagutakat, szűk hidakat is. Voltak olyan vélemények, melyek szerint a gazdaságosan nem „bedrótózható” helyeket úgy kellene hagyni, és ehelyett olyan villanymozdonyokkal megoldani ott a közlekedést, amelyek rövid távon képesek elektromos hozzávezetés nélkül is haladni. Ez gyakorlatilag az önjáró villanymozdonyokat jelentette. Az ekkor elkészült kezdetleges akkuk azonban nem voltak képesek például egy több kilométeres, adott esetben emelkedő alagútban egy több száz tonnás vonatot végigvontatni, és egy több ezer kilométeres villamosítás költségéhez képest elenyésző volt egy-két – akár egyébként is felújításra váró – alagút, átépítése, kibővítése. Ez lett az oka, hogy ezek a kettős hajtású mozdonyok végül nem terjedtek el. Az akkumulátorok magas ára, nagy tömege, és alacsony energiasűrűsége még manapság is csak maximum néhányszor tíz kilométeres, csökkentett sebességű haladást engedélyez az önjáró villanymozdonyoknak, ezért ezek a gépek csak ott használatosak, ahol tényleg nem lehet máshogy megoldani feladataikat.

A Kennecott bánya mozdonyai

Az első akkumulátoros villanymozdonyt 1928-ban állította üzembe az alaskai Kennecott rézbánya, feladata a külszíni fejtéseken kitermelt ércek szállítása volt. A bányavállalat négy darabot rendelt a 85 tonnás, nikkel-vas akkumulátorokkal felszerelt lokomotívokból (ugyanezeket az Edison-rendszerű akkumulátorokat használta az akkus hajtásoknál bemutatott NZR RM motorkocsi is). A gépek alapesetben a 750 voltos egyenáramú felsőoldalvezetékekhez (a mozdonytetőnél magasabban, de a pálya mellett vitt vezeték, a darus rakodás megkönnyítése érdekében) kapcsolódtak, csak egy rövid, villamosítatlan szakaszon, illetve áramszünet esetén haladtak akkumulátorok segítségével. A 700-as sorozatszámot kapott gépek közel 50 évig szállították a nyersanyagot, bár időközben ólom-sav akkumulátorokra cserélték az elhasználódott eredeti telepeket, így önjáró módban nagyobb terhet tud-

tak elvontatni. Leszerelésük után egyet selejtezték, 3-at megőrzési célra ajánlottak fel. Ma egy példány múzeumban, kettő pedig az Iowa állambeli Boone & Scenic kirándulóvasútnál van kiállítva.



A Kennecott bánya villanymozdonyai

100 év a föld alatt - A londoni metró akkumulátoros karbantartó kocsijai

Az önjáró elektromos vasúti járműveket ma legnagyobb számban a londoni metróban alkalmazzák. Az alagutakban több mint 100 éve ilyen mozdonyok továbbítják a karbantartóvonatokat, ami logikusnak tűnik: ha a feszültséget le is kapcsolják, a vonat akkor is tovább tud haladni, majd a visszakapcsolás után újra feltölti akkumulátorait. A közlekedési hálózat 630 V egyenárammal táplálja szerelvényeit, a szervizkocsikon használt akkumulátorok azonban csak 320 voltosak (emiat a kocsik akkus módban az eredeti végsebességüknek kb. felével képesek csak haladni).

A legelső szerelvények még menet közbeni táplálási lehetőség nélküliek voltak (lásd „Akkumulátoros vasúti járművek” fejezet, „Föld alatti akkumulátorosok” c. szakasz), az 1909-ben érkező újabb vonatokat már átalakították oly módon, hogy a selejtezett személyvagonok utasterében helyezték el az akkukat, vagy néhány esetben oldalfal nélküli tehervagonokra pakolt telepekből oldották meg a vontatójármű ellátását. A 2 darab szerelvény átalakítását a W. R. Renshaw & Co. végezte. A gépek csak az I. világháború kitöréséig közlekedtek akkumulátorokkal. Ekkor a telepeket hadicélokra – tengeralattjárók meghajtására – foglalták le, és a háború után sem kapták vissza azokat. A kocsik ezután hagyományos villanygépként közlekedtek tovább egészen 1969-es (!!!) selejtezésükig.

1910-ben 4 vagont motorkocsivá alakítottak, mely során a korábbi kocsik nikkel-vas

akkumulátorokkal és régebben selejtezett motorkocsik villanymotorjaival lettek felszerelve. A vonatok több metróvonalon is szolgáltak, ezért úgy lettek átalakítva, hogy a harmadik sínes táplálási rendszer mellett a néhány vonalon alkalmazott negyedik sínes rendszerről is kaphassanak áramot. A kocsikat 1932-ben nagyobb akkumulátorokkal is felszerelték, majd 1936-ban ill. 1937-ben selejtezték le.

Egy újabb akkumulátoros kocsit 1922-ben helyeztek üzembe, és szintén egy meglévő személyvagonból alakították át. Az ablakokat eltávolították, az utastérbe ólom-sav akkuk kerültek. Az újratöltés úgy volt megoldva, hogy az eredeti áramszedőket leszerelték, és az akkukat egészen a sínekig vezették ki. A vonal bizonyos pontjain áthaladva egy kapcsoló segítségével az akkuk csatlakoztak az áramvezető sínhez, majd a töltési szakasz végén egy másik kapcsoló újra leválasztotta őket. Más elgondolás volt, amikor 1929-ben két, Magyarországról behozott alacsony oldalfalú ún. pórekocsit nagyméretű nikkel-vas akkumulátorokkal szereltek fel. Ezeket a vagonokat kapcsolták egy amúgy átalakítatlan motorkocsihoz, amely nem rendelkezett saját akkumulátorokkal. A motorkocsi tehát a tehervagonokon elhelyezett (vagononként 220 cellányi) akkumulátorból nyerte az energiát. A vagonokat később elhagyták, mert a gépet 1936-ban saját telepekkel szerelték fel, majd így használták egészen 1948-as selejtezéséig.



Egy gőzmozdony a londoni földalatti állományaiban

Az első, már eleve akkumulátorosnak készült villanymozdonyok 1936-1938-ban érkeztek a metróhoz. A sebtiben megépített járművekhez selejtezett vagonok részegységeit használták fel. A 9 megvásárolt gépből 6 hagyományos, míg 3 különleges, ún. Metadyne elektromos rendszerrel érkezett. A normál rendszerű mozdonyok 28 fokozatú menetirányítóval rendelkeztek, hosszuk 16,5 méter, tömegük 53,8 tonna volt (a Metadyne-eseké 56). A gépek maximális sebessége normál üzemben 30 mérföld/óra, azaz 48 km/h volt, akkumulátoros módban ennek a fele. Kialakításuk olyan volt, hogy az egyes vonalakon alkalmazott negyedik sínes, és a más helyeken megszokott harmadik sínes táprendszerrel is képesek voltak üzemelni, bár 1940-ben, amikor az egész metró negyedik sínesre építették át, az utóbbihoz való csatlakozási lehetőséget megszüntették.

A Metadyne-hajtás – a villamos járművek irányítása

A régebben kevészámú – főleg városi – elektromos járművön használt ún. Metadyne hajtás nagyszerű találmány volt, de bonyolultsága, tömege, ára és egyedisége miatt nem igazán terjedt el, pedig megoldást jelentett az villamos hajtás akkori – tirisztoros áramirányítás előtti – legnagyobb problémájára. Az áramszaggatók előtti villanygépek teljesítményüket és fordulatszámukat úgy szabályozták, hogy a villanymotorok kapcsolását a sebesség növekedésével változtatták, így egyre nagyobb feszültség esett az egyes motorokra, az pedig ugyanakkora áramerősség mellett egyre nagyobb teljesítményt jelentett (tipikus példája egy négytengelyes, tehát általában négmotoros jármű esetén: alacsony sebességnél minden motor sorosan van kapcsolva, így a vontatási feszültség negyede esik egy motorra. Ezután két-két motort sorosan, az így kötött motorpárokat párhuzamosan kapcsolják, ekkor egy motorra már a feszültség fele esik. A menetkerekét tovább fordítva mindegyik motort párhuzamosan kapcsolják, így a teljes vontatási feszültség jelenik meg rajtuk. Ez a megoldás durván a normál járművek sebességváltóihoz hasonlít, azzal a különbséggel, hogy itt nem a fordulatszámot (a villanymotorok nagy nyomatéka miatt az elektromos járműveknek általában nincs szükségük olyanra), hanem az áramerősséget „váltják”. Az egyes fokozatokon belül a fordulatszám lépcsők nélküli változtatása ún. előtét-ellenállásokkal történik. Ezek vagy a tetőn, vagy a jármű alatt elhelyezett, jó szigetelőanyagból – általában porcelánból – készült áramköri elemek, amelyek a „felesleges” áramot a szabadba „fűtik el”. Az ilyen járművek hátránya, hogy alacsony sebességeken – mivel ilyenkor az áram nagy része az ellenállásokat melegíti, amelyeket a kis sebesség miatt nem is hűt a menetszél – nagyon melegszenek, és üzemeltetésük nem gazdaságos. Erre a problémára a Metadyne-es áramirányító rendszer már jóval a tirisztorok előtt megoldást kínált. A forgógépes áramirányító a motorokat tápláló, állandó feszültségű, de változó áramú elektromos áramot változó feszültségű, és állandó áramúvá alakítja. Ezáltal a kocsi kis sebességnél sem melegszik túl, mivel csak a feszültség változik, az áramerősség a választott szinten marad. Ez az elgondolás kiváló a gyakran megálló, viszonylag nagy terheket vontató és zárt helyen közlekedő elektromos járművekre, amelyeknek gyakran kell lassan menniük. Az alagút-karbantartó vonatok ide tartoztak, a londoni metróban használt Metadyne-es rendszerű kocsik kilométereken keresztül voltak képesek 100 tonnát is vontatni 3-5 km/h sebességgel anélkül, hogy egyáltalán tapasztalható melegedést mutattak volna, ezenfelül – mivel az áram nem ment veszendőbe – nagy hatótávolságúak is voltak. A Metadyne hátránya, hogy pl. a jelen esetben tárgyalt, viszonylag kis teljesítményű kiszolgálókocsik esetében is 3,5 tonna volt a tömege, megbízhatósága rossz volt, és egyedisége miatt a szervizháttér sem volt túl jó. Ennek ellenére a megmaradt kocsik majd' 40 évig, 1977-ig maradtak a vasútnál, bár új Metadyne-os járműveket már nem rendelt a metró.

A következő nagyobb csoport 1964 végén érkezett egy új vonal (a Victoria) megnyitása-, és a tolatószolgálatban még mindig jelenlevő gőzmozdonyok teljes kiváltása miatt. Ezek a gépek szintén használt alkatrészekből épültek, bár nagyobb ólom-sav akkukat kaptak. A jó tapasztalatok nyomán a 13 darabot a gőzösök selejtezése után (1965) 4 újabb követte.



A 25-ös pályaszámú akkumulátoros 1971-ben, ill. az 59-es napjainkban

A legutolsó akkumulátoros mozdonybeszerzés 1986-ban volt a metrónál. Ezek a gépek csak néhány apróságban különböztek elődeiktől, illetve annyiban, hogy nem lehetett más mozdonyokkal csatolt üzemben használni őket. Megbízhatóságuk rossz volt, ezért a 6 darab gépből 1993-ban 3-at selejtezték, ma már egyikük sem közlekedik. Egyébként az 1922-es széria óta ezek voltak az első mozdonyok, amelyek menet közben is tudták tölteni akkumulátoraikat. Az előző generációk akkuit a járműtelepen töltötték fel teljesen, és nap közben ezeket használták, amikor éppen nem volt elérhető a hálózati feszültség. A legújabb mozdonyok, amelyek a karbantartásban szolgálnak, nem ezek, hanem az Akkumulátoros vasúti járművek c. részben már megismert, 2006 óta üzemelő, tisztán akkus meghajtású, fehér színű gépek.

A városi vasutak önjáró kötőtpályás járművei – villamosok, metrók

A világon egyre több helyen alkalmaznak olyan villamosokat, amelyek rövid szakaszokon felsővezeték nélkül is képesek haladni. Ennek az az előnye, hogy bizonyos szakaszokon le lehet bontani azokat, vagy olyan helyekre is lehet villamost építeni, amelyeken nem férne el a vezeték. A modern villamosok már új típusú NiMH, vagy Li-ion akkumulátorokat is használnak, mert így kevesebb helyen lehet ugyanakkora töltést tárolni. Alapvetően ezek a járművek is két részre oszlanak. Az egyikbe a csak fékenergiát újrahasznosító, a másikba a konnektorról és/vagy felsővezetékről is tölthető városi járművek tartoznak. Jellemző rájuk, hogy általában csak rövid, párszáz méteres, vagy néhány kilométeres szakaszon tudnak – csökkentett sebességgel – akkumulátorról üzemelni.

2007 elején helyezték üzembe Nizza városában azt a 20 darab új Alstom Citedis típusú önjáró villamost, amelyek által a kiszolgált vonal egy menetrend szerinti szakaszán (egy műemlékké nyilvánított téren) – mintegy 500 méteres hosszon – eltávolíthatták a felsővezetékét.



Alstom Citadis önjáró villamos

A németországi Karlsruhe városában 1992 óta járnak akkumulátoros villamosok. A járműveknek azért van szükségük önjáró üzemmódra, mert egyszerre használják a város 750 voltos egyenáramú, és az elővárosi vasutak 15 kV-os, 16 $\frac{2}{3}$ Hz-es váltakozófeszültségű hálózatát (ún. TramTrain-ek – azaz tükörfordításban villamosvonatok). Egy rövid, 250 méteres szakaszon emiatt nincs felsővezeték, itt a kocsik lendületből, illetve akkumulátorokról táplálva haladnak. 2009-ig a motorkocsik 230 Ah-s ólom-sav akkumulátorokat használtak, abban az évben ezeket alacsonyabb kapacitású (200 Ah), de 3 év helyett akár 15 évig is használható nikkel-kadmium telepekre cserélték. Ez az újszerű tömegközlekedési mód egyébként a kettős hajtások új piaca is lehet. Nyugat-Európában egyre több helyen tervezik az elővárosi és a városi közlekedés összekötését olyan vonatokkal, amelyek mindkét rendszer áramhálózatáról tudnak üzemelni, illetve a felsővezeték nélküli szakaszokon akkumulátorral, vagy kisméretű kiegészítő dízelmotorral haladhatnak tovább. A karlsruhei vonalhoz hasonló üzemel Kasselben, Chemnitz-ben, Zwickauban, és Saarbrücken-ben, a svájci Basel-ben, a franciaországi Ile-de-France-ban és a spanyolországi Alicanté-ban is.



A karlsruhe-i TramTrain

A TramTrain ötlete idehaza sem ismeretlen; Magyarországon Budapesten tervezik hasonló építését a metróhálózat és a HÉV-ek összekötésével, de ennek megvalósulása rengeteg pénzbe kerülne, ezért egy ideig még várat magára. 2012-ben döntötték el, hogy az 50 ezer lakosú Hódmezővásárhelyen is kiépítik a TramTrain rendszert (erről bővebben a dízel-motoros segédhajtású villanymozdonyokat bemutató fejezetben lesz szó).

Dízelmotor + külső táplálású villanymotor

A fedélzeti dízelmotorral és vezetékről is hajtható járművek ott alkalmazhatók leginkább, ahol az általuk kiszolgált vonal valamelyik szakaszát nem lehet, vagy nem éri meg villamosítani (például hosszú alagutakban, ahol nem fér el a felsővezeték, vagy éppen a kipufogógázok veszélyei miatt a dízelek ki vannak tiltva). A meghajtás módja itt is különböző lehet; közúti, vagy kisebb járműveknél a dízelmotor mechanikus úton hajtja meg a kerekeket, amelyeket a felsővezetékhez csatlakozás esetén a villanymotor is forgathat.



A Debrecenben közlekedő Ganz Solaris Trollino 12D típusú, dízelmotorral is felszerelt önjáró trolis. A kicsi, 130 lóerős dízellel maximum 35 km/h sebességgel továbbhaladhat, ha nincs felsővezeték.

Nagyobb (pl. vasúti) gépeknél gyakorlatilag dízel-elektromos hajtásról van szó, amelynek vontatómotorjait felsővezetékéről kapott árammal is lehet hajtani. A kettős üzemű (ún. elektrodízel) járművek közlekedtetése a dupla hajtóművek miatti nagy felár okán csak ott éri meg igazán, ahol ahhoz túl nagy a felsővezeték-mentes szakaszok hossza, hogy akkumulátorokkal meg lehessen oldani, viszont ahhoz túl kicsi, hogy az állandó mozdonycserék miatti idővesztést és a kétszer annyi mozdony fenntartását megérje. Ezen speciális adottságok miatt az elektrodízel járművek viszonylag ritkán fordulnak elő, bár a többes hajtások között még mindig a leggyakoribbnak számítanak.

Dízelmotoros villanymozdonyok, villanymotoros dízelmozdonyok és motorkocsik a világban

A vasúti elektrodízel mozdonyok előnyei, hogy szükségtelenné teszik a mozdonycserét a felsővezeték végénél, sőt – ha több áramnemről is képesek üzemelni – a fázishatárokon

sem kell megállniuk. Hátrányaik, hogy általában sem teljes értékű dízelmozdonyként, sem igazi villanymozdonyként nem alkalmazhatók (méretükhöz képest mindkét hajtásuk gyengébb egy igazi lokomotívhoz képest), valamint természetesen a magas ár. Jól kigondolt koncepció esetén viszont megéri az elektrodízelek használata, látni fogjuk, mennyi helyen alkalmazzák őket, ahol egyébként elég bonyolult lenne hagyományos mozdonyokkal megoldani a vontatást.

Aszerint, hogy a mozdony hajtásában melyik elem a domináns, megkülönböztetünk főleg villamos, főleg dízel és valódi kettős üzemű (ún. full-dual-mode) mozdonyokat.



Bombardier gyármányú full dual mode elektrodízel lokomotív

Az első változatok gyakorlatilag kisméretű segéddízelrel felszerelt villanymozdonyok, ezeket sokszor csak a villamosítatlan járműtelepeken, illetve áramszünet esetén használják dízelmotorral, ennek megfelelően ebben az üzemmódban nem is képesek maximális sebességgel haladni, illetve hatótávjuk is sokkal kisebb, mint egy normál dízelgépé.

Az olyan elektrodízelek, amelyeknek domináns erőgépe a dízelmotor, általában csak ott használják az elektromos meghajtást, ahol valamiért a kipufogógázok ki vannak tiltva (pl. hosszú alagutak, környezetvédelmi területek) de ahhoz túl hosszú a szakasz, hogy esetleg akkumulátorral is meg lehessen tenni az utat. Ezen felül, ha esetleg kiürül a tank, és felsővezeték alatt halad a mozdony, a feladatát, bár kisebb sebességgel, de elvégezheti, mivel elektromos meghajtás esetén teljesítményük sokkal kisebb, mint a dízelmotor által szolgáltatott.

Az áruk miatt viszonylag ritka teljes értékű elektrodízelek (általában nem mozdonyok, hanem a hatékonyabb helykihasználás érdekében motorvonatok) teljesítménye mind elektromos- mind dízel módban nagyjából egyforma és megfelel egy-egy hagyományos mozdonyénak, ez azonban árukon is meglátszik.

Mivel az elektrodízel mozdonyokból az eddigiekben tárgyalt típusokhoz képest sokkal több szolgál a világon, csak a valamilyen okból emlékezetesebb példányokat azokat mutatjuk be.

BR Class-73 dízelmotoros segédhajtású villanymozdony

Az első kettős üzemű mozdonysorozatok egyike volt az Angliában, 1961-től üzemelő Class-73-as. Elkészültét az (is) indokolta, hogy az akkor még nem létező Csalagút miatt kompra kényszerülő nemzetközi vonatok – a hajókon a vezetőkek hiánya miatt – csak dízel, vagy gőzvontatással közlekedhettek, vagy legalábbis a kikötőben mozdonycserét kellett végrehajtani. A Class 73-asba ennek megfelelően egy relatíve kis teljesítményű, 600 lóerős, soros négyhengeres English Electric gyártmányú turbófeltöltős dízelmotor került. Elektromos módban egyébként az Egyesült Királyságban akkoriban még nagy arányban jelen levő harmadik sínről kapta az áramot, és kétféle (650- és 750 V egyenáram) áramrendszeren is lehetett használni (akkoriban rengeteg, különböző feszültségszinttel és táprendszerrel működtek a villanyvasutak a királyságban. Ez nagyon kényelmetlen és bonyolult volt, bár legtöbbször nem terveztek át mozdonyt miatta. Így pl. egy 750 V-os hálózatra épült mozdony ugyanúgy közlekedett a 650 voltos szakaszokon is, csak ott annyival kisebb teljesítményt tudott leadni). A BR Class-73 egyébként egy közepes méretű, négytengelyes mozdony volt, tömege a kettős hajtás ellenére is csak 76 tonna volt, tehát kis tengelyterhelésű pályákon is tudott közlekedni. Teljesítménye 1420 lóerő volt elektromos módban, maximális sebessége 145-, míg dízel-motorral csak kicsivel kevesebb, 130 km/h (bár a kicsi – 44 literes – dízelmotor nem kedvelte a nagy igénybevételt, igaz, ritkán is használták). A mozdony keskeny kocsiszekrényének köszönhetően a szűk, korábban gőzmozdonyok által használt alagutakban is elfért. Sajnos azonban volt egy-két hibája, ami miatt nem lett igazán sikeres. Az áramszedő papucskok nem voltak szigetelve, ezért sokszor hatalmas, ijesztő szikraesőt húztak maguk után, sőt, a rájuk ragadt szennyeződések nem egy mozdony kigyulladását okozták. A 69 darab legyártott példányból egyébként még egy tucat ma is üzemben van, jelenleg ezek az egyetlen elektrodízel mozdonyok a szigetországban. A típus nagyobb teljesítményű változata, a BR Class-74 (650 lóerős dízelmotorral és 2300 lóerős elektromos teljesítménnyel) sorozat tagjai sajnos még sikertelenebbek lettek, 1977-ig az összeset selejtezték. Tekintélyes koruk és kis méretük miatt azonban ma már csak rövid személyvonatokat vontatnak. A 73-as sorozatot több vasúttársaság is alkalmazta, amelyek közül néhány kisebb változtatásokat is eszközölt. Pár mozdony tengelyhajtóművét úgy alakították át, hogy dízelmotorral is elérhessék a 145 km/h-t, míg 2 lokomotív esetében az English Electric dízelmotorokat két darab, összesen 1500 lóerős Cummins erőforrásra cserélték, így a Class-73/3-as altípus teljes értékű elektrodízelle minősült át.



BR Class-73

Az angol InterCityExpress jövője: kettős üzemű motorvonatok

Jövőre kezdik meg a királyság legnagyobb városait összekötő InterCityExpress-hálózat építését, amely amellelt, hogy leváltja a már a 70-es évek óta üzemelő InterCity HST nagysebességű dízelmotorvonatokat, kettős üzemű szerelvényeket is szolgálatba állít. A félig japán, félig brit gyártmányú, többáramnemű, felsővezetékéről, harmadik sínről is üzemelni képes, dízelmotorral is felszerelt 6 kocsis motorvonatok utazósebessége 200 km/h lesz. A japán Hitachi által gyártott motorvonatok után Hitachi SuperExpress-nek nevezett járatok 2017-ben indulhatnak meg, a projekt költségvetése 6 milliárd euró.



Számítógépes elképzelés a Hitachi SuperExpressről amelynek egyik fele dízelmotorral (jobbra) a másik elektromos felsővezetékkel (balra) tud haladni

A „cápaorrú” Baldwin RP-210

Az elektromos hálózatról is működőképes dízelmozdonyok legnagyobb számban Amerikában üzemeltek. Ezek legtöbbször olyan, teljes értékű dízelek voltak, amelyek az ország keleti partján található, 600-1000 voltos, harmadik sínes rendszerekről is tudtak áramot venni. Megjelenésük nagyjából egybeesik a hagyományos dízelek II. világháború utáni elterjedésével, tehát többségében az akkoriban a mozdonyépítési körökben népszerű, áramvonalas, „pisze orrú” gépek voltak. Az első ilyen gép az 1956-ban épített Baldwin RP-210 típusú négytengelyes dízelmozdony volt. A gép kísérleti jelleggel, mindössze három példányban készült, fő erőforrásuk egy V12-es Maybach-turbódízel volt 1000 LE teljesítménnyel, amely hidraulikus hajtómű segítségével hajtotta meg az első kéttengelyes forgóvázat. A kocsiszerényben helyet kapott egy – az egyikben V8-as, a másik kettőben soros hathengeres – szintén Maybach-gyártmányú kiegészítő motor is, amely a vagonok fűtéséhez, világításához, ajtóvezérléséhez szolgáltatva az elektromosságot 480 voltos generátoron keresztül. A két New York Central vasúttársasághoz kerülő mozdonyt képessé tették az ottani, 660 voltos, harmadik sínes rendszerről való működésre, aminek azért volt jelentősége, mert a fedett Grand Central Terminal pályaudvarra akkor már nem mehettek be se a dízelek, se a gőzmozdonyok. A két hátsó tengelyre ezért két darab, egyenként mindössze 150 lóerős vontatómotort szereltek, ezek két áramszedő papucson keresztül voltak táplálva. A mozdony egyébként elég nagy, 190 km/h sebességre volt képes a dízelmotorok segítségével. Az RP-210-esek üzemképessége nagyon rossz volt, ráadásul a kiszériás mozdony szerelésére nem voltak felkészülve a szakemberek, szervizhátterük pedig gyakorlatilag nem volt. Ezen felül a gépeket az Amerikában teljesen szokatlan metrikus méretrendszer szerint készítették (métermenetű csavarokkal, anyákkal), emiatt a csak collos szerszámokkal rendelkező szerelőknek nevése-

ges módon sokszor a pályaudvarhoz közeli Volkswagen autókereskedésből kellett csavarkulcsokat, egyéb szerszámokat kölcsönkérni! A mozdonyok sorsát ez meg is pecsételte, a már vázolt problémán kívül a hajtóműolaj sorozatos túlmelegedése miatti üzemképtelenségek meghozták „eredményüket”: 1960-ban a gépeket eladták Észak-Karolinába, ahol néhány éves üzem után félreállították, majd 1970-ben selejtezték őket.



A cápaorrú Baldwin RP-210 elektrodízél

USA: „Dízelmozdonnyal behajtani tilos!”

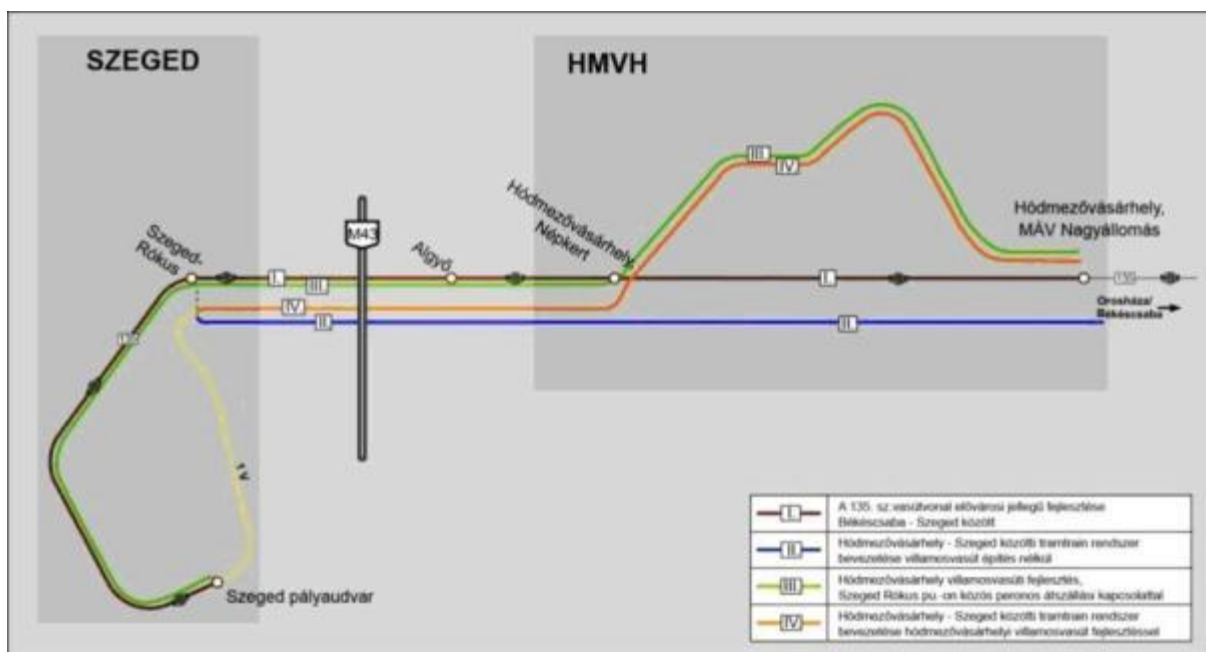
Az USA keleti partján a mai napig nagy sikernek örvendő elektrodízelek elterjedésének fő oka a nagyvárosok fedett fejpályaudvarainak sajátos kialakítása volt. Ezekben a hatalmas, sokszor két vágányszintes épületekben nem építettek ki felsővezetékét, viszont a „füstölő” mozdonyokat már a gőzösök aranykorában kitiltották. Ez a villanymozdonyok megjelenése előtt sokszor igen vakmerő megoldásokat szült; meglehetősen kalandos volt az egy időben teljesen protokollszerűen űzött eljárás, amikor is a gőzmozdonyt a pályaudvar előtt lekapcsolták vonatáról, az kigyorsítva hagyta a szerelvényét, majd átállt egy másik vágányra. Ezután a váltót gyorsan visszaváltották – még mielőtt a mozdony nélkül száguldó vagonok odaértek volna – majd az így beérkező szerelvényt a kalauz fékezte le a vagonok kézifékjeivel! Ez a megoldás pontosan olyan veszélyes volt, mint amilyennek első olvasatra tűnik, de szerencsére soha nem lett belőle baleset. A II. világháború után az ilyen állomásokat villamosították – kicsi, párszáz voltos egyenáramú feszültséggel – a dízeleket kiegészítő villanymotorokkal látták el, a villanymozdonyokat pedig alkalmassá tették az áramnem fogadására. Így ezek a gépek is használhatták a pályaudvarokat. A keleti parton szolgáló dízelmozdonyok közül soknak van olyan altípusa, amit kifejezetten erre a célra szereltek fel áramszedő papucsokkal, így kis sebességgel képesek haladni úgy is, hogy a dízelmotor áll.



Egy Amtrak GM FL9-es "Genesis" elektrodízel mozdony a new york-i Grand Central Terminal pályaudvaron (balra) és a pályaudvar maga (jobbra)

Magyarország: a hódmezővásárhelyi TramTrain

Közvetlenül Magyarországhoz kapcsolódik a nemrég, 2012 nyarán jóváhagyott Szeged és Hódmezővásárhely közötti TramTrain vasút. Az építést az indokolja, hogy a Szegedtől 20 km-re fekvő Hódmezővásárhelyről naponta mintegy 8 ezer ember ingázik a nagyvárosba, illetve a közelebbi Algyőről is körülbelül ugyanennyien. Ez a – leginkább közúton zajló – forgalom nagyon leterheli a két város közötti főutat, ezért úgy döntöttek, bevezetik a Szeged villamosvonalait és a városközi vasutat is használó TramTrain rendszert. A 30 méter hosszú szerelvények Szeged központjából, 20 percenként indulnának, majd a külvárosban, Szeged-Rókus megállóhelynél (itt a villamosnak és a vasútnak egyébként szintbeli kereszteződése is van) a városközi vasútra kanyarodna rá. Hódmezővásárhelyig 5 megállója lenne a vonatnak, majd ismét lekanyarodna és a Hódmezővásárhelyen kiépített – még nem létező – villamosvonalon érkezne meg a település központjába.



A Szeged-Hódmezővásárhely TramTrain tervezett nyomvonala

A szerelvények – mivel a Szeged és Hódmezővásárhely közötti vasút nincs villamosítva – elektrodízel motorvonatok lennének, amelyek a szegedi villamos 600 V-os egyenáramú hálózatról is tudnának üzemelni, illetve dízelmotorral is haladni, miközben kinézetre egy városi villamosra hasonlítanának. Így állítólag 30 %-kal olcsóbban lehetne megvalósítani a tervet mintha ezen a szakaszon villamosítanák a vasutat. Maximális sebességük városban 50- a városok között 100 km/h lenne, ezzel gyorsabbak lennének akár az autóknál is. Az építést 2013-ban kezdik, az első menetrendszerű TramTrain 2015 elején indulhatna el.



A tervezett szerelvények

Mit hoz a jövő?

A legújabb elektrodízelek már mindkét módon nagy teljesítményekre és sebességre képesek. Léteznek már 4-5 ezer lóerős egységek, illetve 200 km/h feletti sebességű motorvonatok is kettős hajtással, amelyek egyszerre teszik feleslegessé, hogy külön dízelmozdonyokat és villanymozdonyokat rendeljenek egy részben villamosított vonalra, valamint ezen szakaszok villamosítását.

Szuperkondenzátoros vegyes hajtások

A szuperkondenzátorok elmúlt 10-15 évben mutatott elterjedése magával hozta, hogy több területen – így a vasúti vontatási területén is – megpróbálkozzanak alkalmazásával. A szuperkondenzátorokkal foglalkozó fejezetben kifejtett hátrányok miatt – kis tárolókapacitás, magas ár – azonban egyelőre még nagyon kicsi a szerepük ezen a téren. Egy nagy dízel- vagy villanymozdony és az általa továbbított vonat megindítása, nagy sebességgel történő mozgatása hatalmas energiát igényel, erre pedig jelenleg még nem alkalmasak ezek a tárolók. Ha a mozdonyok megmozdításában nem is, „életre keltésükben” nagy szerepe lehet a jövőben a szuperkondenzátoroknak. Egy nagy teljesítménysűrűségű, és nagy élettartamú tároló ugyanis sokkal alkalmasabb a hatalmas dízelmotorok beindítására, mint a nagy terhelőáramokat gyors tönkremenéssel „jutalmazó” akkumulátor. Már most is készülnek olyan dízelmozdonyok, amelyek így indulnak el.

A szuperkondenzátoroknak később sem a nagyteljesítményű, nagytömegű áru fuvaroz-

zásban, inkább a kis volumenű – városi, elővárosi – közlekedés lehetne az igazi piaca, ahol a járművek gyakran állnak meg és indulnak el, sokszor fékeznek és gyorsítanak, ami a legideálisabb az energiát gyorsan felvenni képes szuperkondenzátoroknak. Az elmúlt években több olyan önjáró villamos is napvilágot látott, amely nem akkumulátorokban, hanem kondenzátorokban tárolja a fékegyergia-visszanyerő berendezés segítségével visszatáplált energiát.

Alstom Citadis STEEM

A 2008-ban üzembe állított, Párizsban közlekedő Alstom Citadis STEEM típusú, eredetileg akkumulátoros villamosai 48 darab szuperkondenzátort hordanak a tetejükön, amelyek az áramszerzőkön keresztül és/vagy fékezés közben, mindössze 20 másodperc alatt fel tudnak tölteni, így a villamosok párszáz métert leeresztett pantográfokkal is meg tudnak tenni. A francia fővárosnak leszállított 402 darab alacsonypadlós, csuklós egység által kiszolgált vonalak egyes szakaszain ezért megszüntették a felsővezetéseket.



A párizsi Alstom Citadis STEEM szuperkondenzátoros segédhajtású villamos

A genfi szuperkondenzátoros villamos

2012-ben Genf is vásárolt 32 darab Tango típusú, szintén szuperkondenzátorokkal felszerelt villamost. A tárolók annyi energiát képesek eltárolni, hogy a villamost 400 méterig maximális teljesítményen tudják táplálni, de akár 1500 métert is meg lehet tenni a járművekkel. A svájci nagyvárosban ennek ellenére nincsenek menetrendszerűen „felsővezeték nélküli” szakaszok, a szuperkondenzátorokat csak áramszünet esetén, vagy a járműtelepen használják.



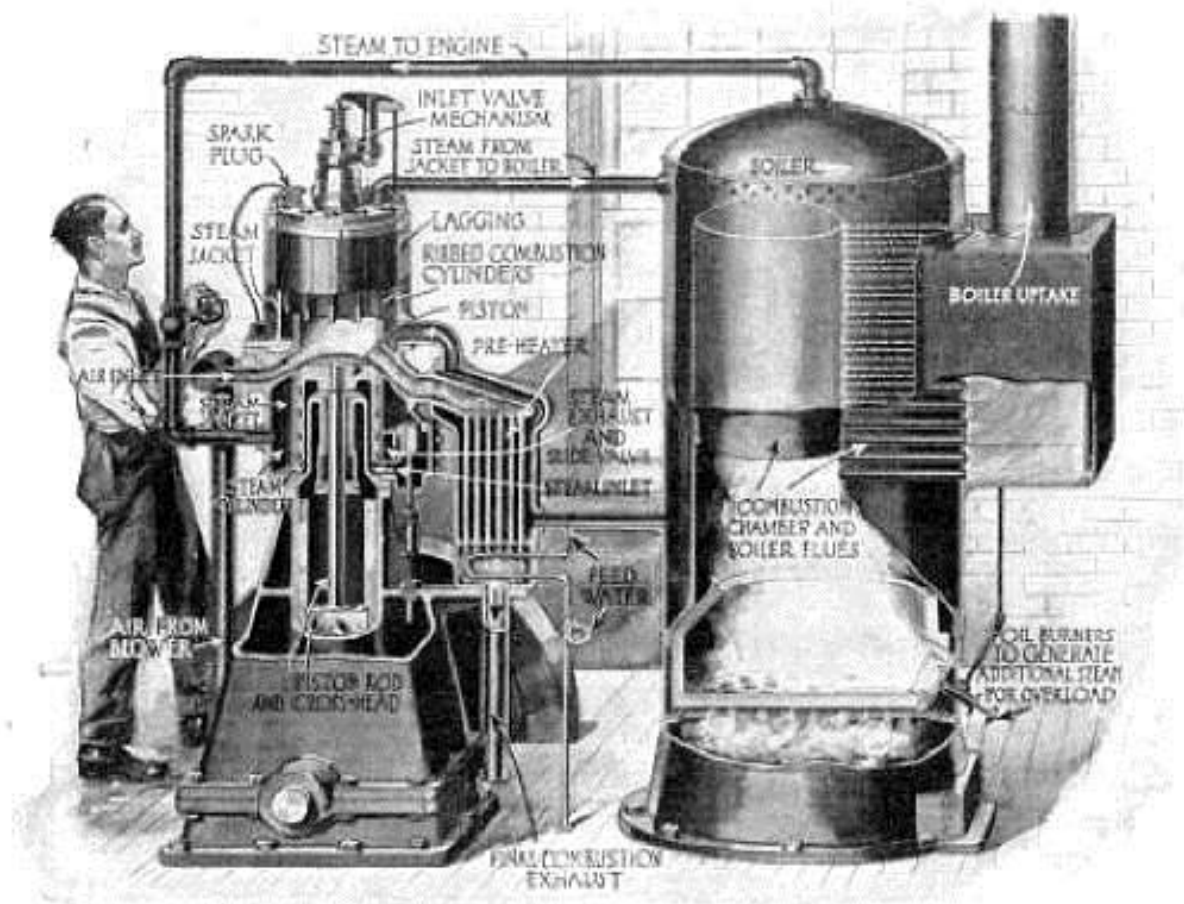
A genfi Tango

A rendszert nem csak villamosokon, hanem metrókon is tesztelték már, 2009-ben Dél-Koreában próbálták ki egy ilyen szerelvényt, amely így 20 %-kal kevesebb áramot fogyasztott.

Dízelmotor + gőzgép

Az igazán különleges vegyes hajtások egyik képviselője az ún. dízel-gőz hibridhajtás, amely olyan szerepet tölt be a gőzgépek és a dízelmotorok között, mint a Homo erectus a Homo habilis és a Homo sapiens között az ember fejlődésében. Ennek megfelelően megjelenése is a dízelek hajnala és a gőzösök aranykora körüli időkre (1920-30-as évek) tehető. Bár a valaha szolgált maroknyi gőzös dízelmozdony sem egyezett meg a működés alapvető módjában, a furcsa hajtás alapját az ún. Still-típusú gőzmotorok jelentették. Ezek a – leginkább egy gyorsjárású gőzgép és egy korai dízelmotor mutánsának tekinthető – hőerőgépek elvileg egyesítették a két eljárás előnyeit, miközben a gőzgépek rossz hatásfokán javítottak és nem kellett hozzá a dízelekhez szükséges bonyolult hűtőrendszerek és hajtóművek sem. A Still-motorok úgy néztek ki, hogy egy kettős működésű dugattyú egyik oldala egy dízelmotor hengereként, a másik egy gőzgép munkatereként funkcionált. A dízelmotor gyors indíthatóságának köszönhetően kiküszöbölhető volt a gőzgépek egyik nagy hátránya, hogy nagyon lassan lehetett őket üzembe helyezni. A dízelmotor indítása után a henger hulladék hőjével (a kazántápvíz hűtővízként keringetve a hengerpalástban), illetve a kisméretű, gázolajtüzelésű kiegészítő kazánnal szép lassan a gőzgépet is munkára lehetett fogni. Ha ez utóbbi már működött, akkor a dugattyú „dízel felét” akár le is lehetett állítani, így a gépezet a továbbiakban hagyományos gőzgépként működött tovább, tehát a dízelmotor egy szokatlan indítómotorként is szolgált. A motort egyébként 1917-ben találták fel, és a meglehetősen rövid és sikertelen (lásd lejjebb) vasúti alkalmazása mellett hajókon is használták, de elsősorban gyárak energiaellátására szánták. Hátránya volt, hogy ugyanúgy igényelt – ráadásul különlegesen képzett – fűtőszemélyzetet, mint egy gőzgép, viszont az akkoriban még elég drága folyékony kőolajszármazékokkal működött, mint egy dízelmotor, és a dupla gépezet miatt igen bonyolult volt. A már akkoriban is létező kétütemű izzófejes stabilgépek, valamint a dízeleknél a 30-as években megjelenő elektromos indítómotorok teljesen feleslegessé tet-

ték a technikatörténeti szempontból egyébként igen érdekes megoldást, amelyről mára már csak néhány rajz és leírás maradt meg sajnos.



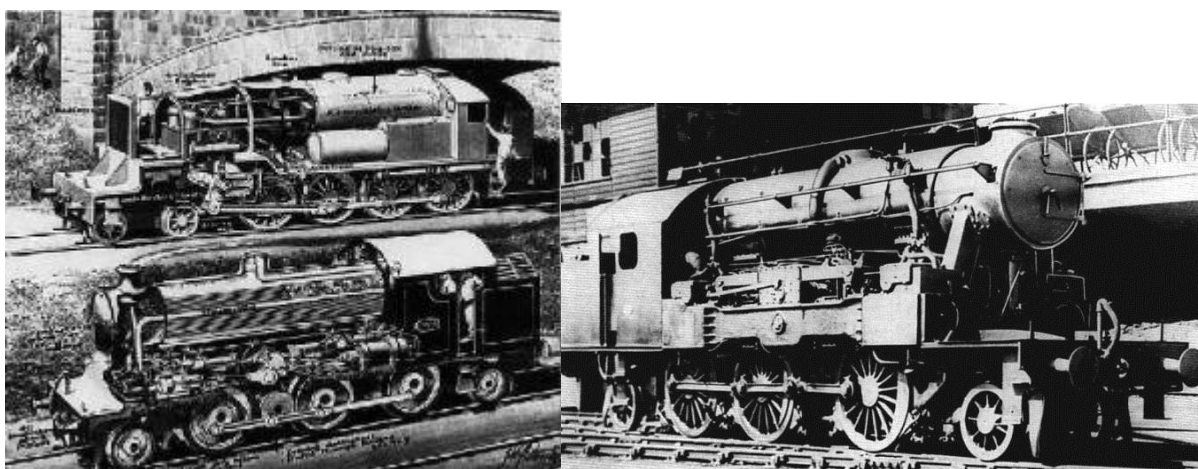
A gőz-dízel Still-motor

A Kitson-Still gőz-dízel mozdony

Az a néhány „dízelgőzös” amely egyáltalán elkészült, szintén nem volt túl sikeres, inkább annak bizonyosságául szolgált, hogy a megszállott mérnökök az új találmányokat szinte bármire képesek felhasználni (ugyanerre „sorsra” jutottak a II. világháború után elterjedő gázturbinák is). A kettős üzemű gőzgépekkel a múlt század 30-as 40-es éveiben próbálkoztak leginkább, ekkor kezdtek a dízelmozdonyok teljesítményükkel a gőzösök mögé felzárkózni. Mivel erősen kísérleti jellegű próbálkozásokról volt szó, az elkészült példányok sokszor elég furcsa kinézetűek voltak, de abban megegyeztek, hogy az alapot minden esetben egy gőzmozdony jelentette és a működésük során is a gőzhajtás dominált. A dízelmotort csak néhány nagy előnye miatt (jó hatásfok, gyors reagálás) alkalmazták, a mozdonyok „főgépe” a gőzgép maradt.

Az első vasúti hibrid gőzmozdonyt maga a feltaláló, William Still építtette meg a Kitson mozdonygyárban, 1926-ban. Az alapot egy régebbi, 1C1 (Whyte-rendszer szerint 2-6-2) tengelyelrendezésű, tehát három hajtott tengelyes, szertartályos gőzmozdony jelentette. A lokomotívt megszabadították eredeti gőzhengereitől és kazánjától, helyükre egy kisméretű, olajtüzelésű bojler, és két darab, egyik felén gőz- másik felé dízel-ciklus szerint működő

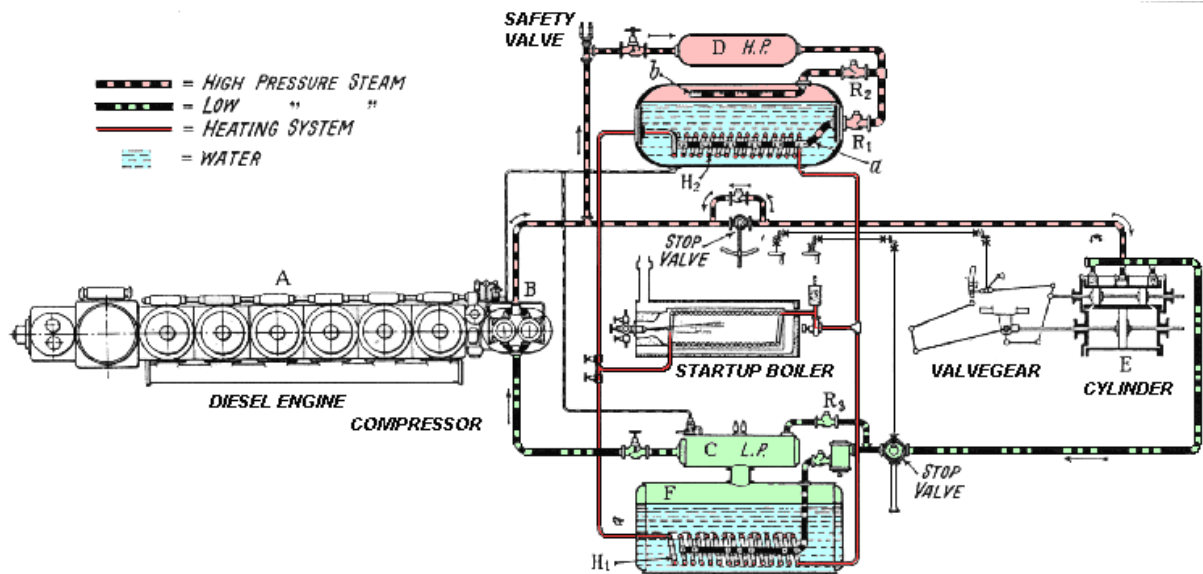
hengert szereltek fel. A gázolajat a korábbi szénttartály helyén tárolták. A mozdony úgy működött, hogy – az eredeti Still-elgondolással ellentétben – a gőzgéppel indultak el (mivel a dízelmotor merev, oldhatatlan fogaskerék kapcsolatban volt a tengelyekkel és így nem szabadott elindítani), így ki lehetett használni annak nagy indítónyomatékát. 8 km/h sebességnél elindították a dízelt is, majd a kazán teljesítményét visszavették, mert a gőz fejlesztéséhez az energiát a dízelmotor hulladék hője biztosította tovább. Így rengeteg üzemanyagot lehetett megspórolni. A kettős üzemű mozdony jó menetteljesítményeket produkált, emelkedően például a hagyományos gőzösöknél jóval kisebb fogyasztással üzemelt. Sajnos azonban bonyolultsága és drága fenntartása miatt nem volt alkalmas hétköznapi használatra, így 1934-ben a tesztelő LNER brit vasúttársaság visszaszolgáltatta a gyártó Kitson-nak, amely szétszerelte a mozdonyt. Érdekesség, hogy a Still-gépezet, amely ezt a járművet hajtotta, gyári stabilgépként kezdte pályafutását, majd rövid, hajózásban eltöltött idő után került végül a vasútra, de mint láthatjuk, sehol sem találta meg a helyét.



A Kitson-Still gőz-dízel hibrid metszeti rajza (balra) és a mozdony 1933-ban (jobbra)

Cristiani gőzkompresszoros dízel-gőz hibrid

Más rendszer szerint működött az olasz Severino Cristiani által feltalált gőzkompresszoros hajtással működtetett mozdony. Itt a dízelmotornak nagyobb szerepe volt a hajtásban, a gőz csak, mint hajtómű vett részt a mozgatásban. A belső égésű motor egy kompresszort hajtott meg, amely a kazánban megtermelt gőzt összesűrítette, ezt nagy nyomáson a munkahengerekbe vezették, a meghajtás pedig a gőzmozdonyokhoz hasonlóan, hengerekkel, csatlórudakkal, kapcsolt kerekekkel történt. A hengerekből távozó fáradt gőzt ezután újra a kompresszorba vezették, majd a folyamat megismétlődött. Ennek köszönhetően a kazánnal csak a kezdeti gőzmennyiséget kellett előállítani, a többi feladat a dízelmotorra és a hengerekre hárult. Ha úgy vesszük, akkor egy gőz-hajtóművű dízelmozdonyról volt szó tehát. Az elgondolás további előnye az volt, hogy viszonylag könnyen át lehetett alakítani a meglévő gőzmozdonyokat ilyen üzemre. A találmányt 1923-ban mutatták be Angliában, de az átalakított 0-6-0 tengelyelrendezésű (3 hajtott tengelyű, futókerekek nélküli) gőzösben dízelmotor helyett két kisméretű, hajózásban használt benzinmotort használtak. A Paragon-Cristiani mozdony nem szerepelt jól a teszteken, ezért visszaalakították gőzösre (ma múzeumban van kiállítva) a már említett tömeges gőzmozdony-átalakításokból se lett semmi.



A Cristiani-féle gőzkompresszoros meghajtás működése (fent) és az egykoron átalakított 0-6-0-s, nyeregtagos (a szertartály a kazánon "ül") gőzmozdony napjainkban (lent)

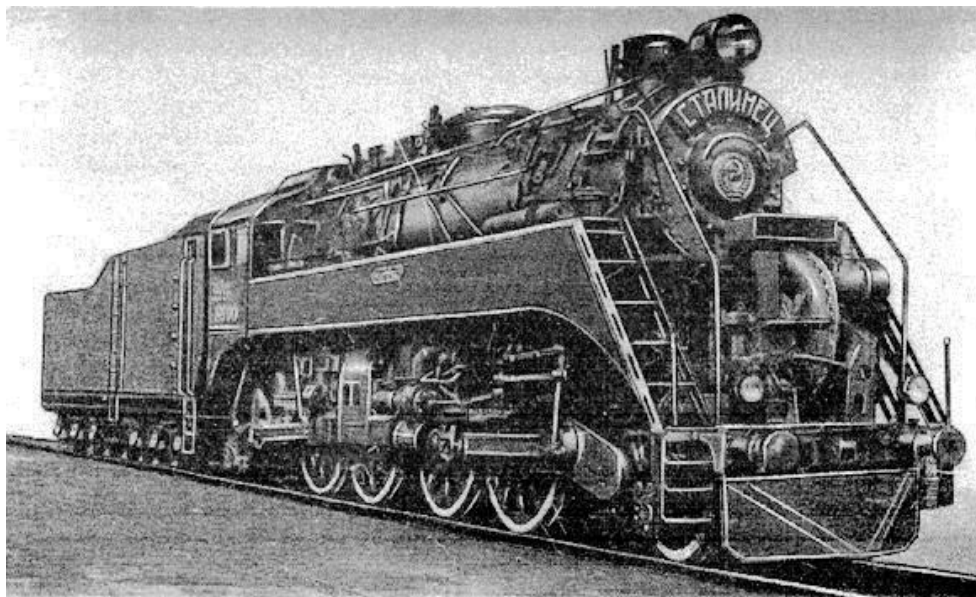


Sztálin dízel-gőzmozdonyai

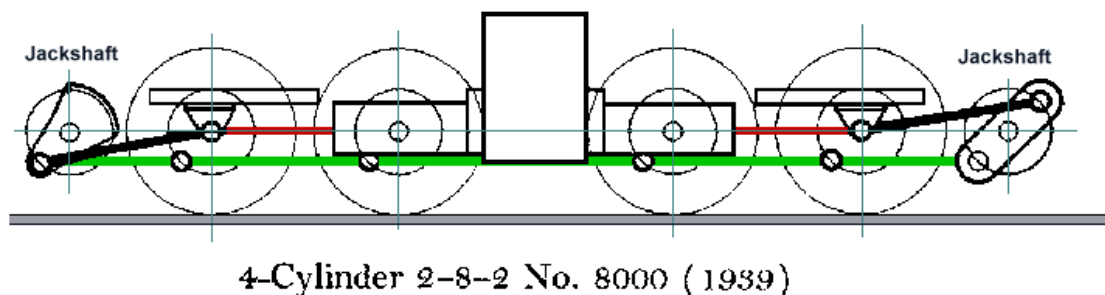
A gőz-dízel hibridmozdonyok fejlesztését a sztálinista szovjet vezetés „erőltette” a legjobban, ennek oka az ország akkori történelmében keresendő. A hatalmas Szovjetunió vasútjai a 30-as, 40-es években Sztálin hatalomátvétele, majd a II. világháború miatt egyszerűen katasztrofális állapotban voltak. A pártszimpátia-alapon kinevezett vasúti vezetők nem értettek a vonatokhoz, az igazi szakembereket kivégezték, vagy elmenekültek az országból. Azt még a szakképzetlen vezetők is látták, hogy milyen rossz a helyzet, ezért azonnali és radikális megoldást sürgettek. Nemcsak hogy a nyugati fejlett állomokhoz való felzárkózást, hanem a „jövőbemutató” megoldások segítségével a „világ legfejlettebb vasútaját” kívánták megépíteni, amely az irigykedő nyugati hatalmak előtt hirdette volna a Szovjetunió nagyságát (ilyen irányelvek mentén készülhetett el a világ egyetlen 4-14-4 tengelyelrendezésű, azaz hét (!!!) kapcsolt tengelyű gőzöse, amelyik gyakorlatilag nem tudott íveket bevenni). Ezen

jövőbemutató megoldások egyike volt a gőz-dízel hibridmozdony, amelyből mindjárt három különböző prototípus is napvilágot látott pár éven belül, az erőltetett fejlesztéseknek pedig csak a háború tudott véget vetni.

Az első, 8000-es sorozatszámot kapott „Теплопаровоз” azaz dízel-gőzös mozdony 1939-ben született meg. A gépészeti elrendezés nagyon különleges volt. A két gőzhenger nem a gőzös elején, hanem a középén helyezkedett el, ezekben két ellendugattyú dolgozott, amelyek 3 hengertérre osztották fel a gépezetet. A két szélső hengertér normál gőzgépként működött a középső (mindkét oldalról a dugattyúk által határolt) tér dízel injektorokat kapott. Az összesen 4 dugattyú bonyolult csatlórudazaton, forgattyústengelyeken keresztül forgatta meg a 4 hajtott tengelyt. 20 km/h sebességig csak a gőzgép működött, majd bekapcsolták a dízelmotort, ami plusz teljesítményt szolgáltatott a két ellendugattyún keresztül. A 8000-es mozdony a háború kitörésének havában, 1939 szeptemberében készült el Vorosilovgrádban (ma Luganszk). Elméleti végsebessége 130 km/h volt, de a Donyeck környékén, októberben elvégzett teszteken még csak megközelíteni sem tudta ezt az értéket. A háború aztán mintegy 10 évre elsöpörte a terveket, a mozdonyt csak 1946-ban vették elő újra, ekkor végeztek még néhány próbaútást (sikertelenül), majd 1948-ban végleg leállították. A mozdony hibája hatalmas tömege volt (tengelyterhelése elérte a 25 tonnát, ezt nem bírták el a gyenge felépítményű pályák), továbbá rossz futási tulajdonságokkal rendelkezett, valamint a silány anyagminőség miatt gőzhengerei elrepedtek.



A 8000-es sorozatú szovjet dízelhibrid (fent) és meghajtásának elméleti működése (lent)



Ha lehet, még furcsább és még bonyolultabb volt a rákövetkező évben elkészült TP-1 sorozatú széngázmotoros gőzmozdony. A gép kinézetre egy korai dízelmozdony és egy 2-10-2 elrendezésű (5 hajtott tengelyes) normál gőzös „szerelemgyerekére” emlékeztetett, mivel a normál gőzmozdonyfülkén kívül az elején egy dízelmozdony-vezetőállás is helyet kapott. A mozdony működése szintén nagyon egyedi volt; a gép antracitot használt tüzelőanyagként, a prémium szénfajtát a szerkocsiban elhelyezett szénporító először összezúzta, majd egy szén-gáz-generátorral gáz halmazállapotúvá alakították, ez volt a belső égésű motor üzemanyaga. A szén másik felével pedig a kazánt fűtötték, illetve a mozdonyon még egy kisméretű gőzturbina (!!!) is dolgozott, mivel a tűztéri huzat nem volt megfelelő, és az ezzel hajtott ventilátorral kellett javítani a légáramlást. A meghajtás egyébként a másik gőzöshöz hasonló ellendugattyús gépekkel történt.

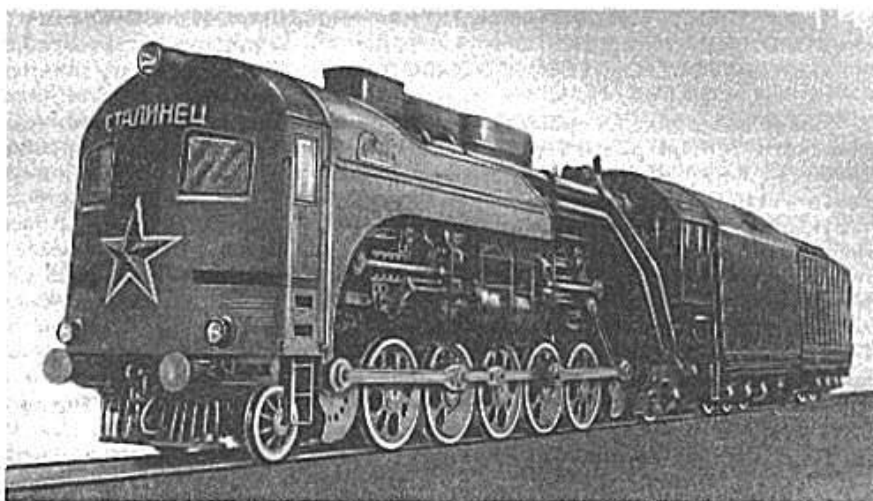


Рис. 10.3. Теплопаровоз типа 1-5-1 Коломенского завода

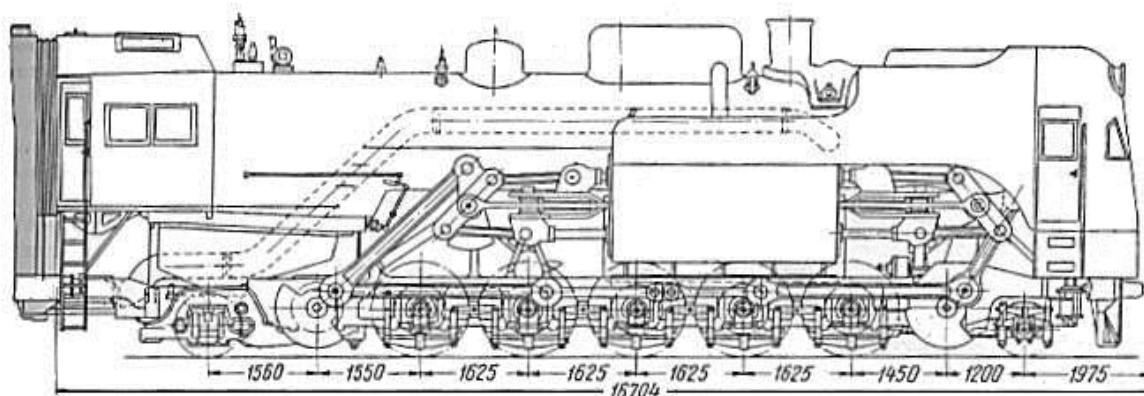


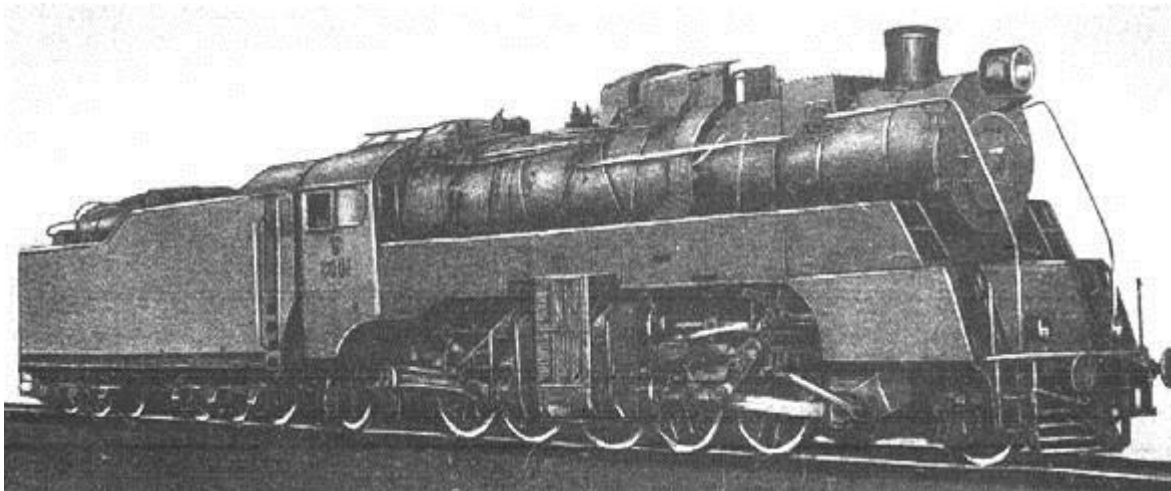
Рис. 10.4. Основные размеры теплопаровоза типа 1-5-1 Коломенского завода

TP1-1-es 3500 lóerős dízel-gőzmozdony

A dízelmozdonyoszerű vezetőálláson dolgozott a mozdonyvezető, a hátsó fülkében a fűtő kezelte a széngáz-generátort és szította a tüzet. Nem tudjuk, hogy a két külön térben tartózkodó személyzet tagjai hogyan kommunikáltak egymással – valószínűleg sehogy. A furcsa gőzmozdony elvárt teljesítménye 3500 lóerő volt, ebből 2000-et a széngázmotorból, 1500-at a gőzgépekből akartak elérni. A széngázmotor kétütemű volt, tehát minden fordulatára jutott egy gyújtási ütem, emiatt a gázkeverék bejuttatása az égéstérbe egy Roots-fúvó segítségével történt. A mozdony számított hatásfoka 11 % volt, azaz a korabeli gőzmozdonyokénál

valamivel jobb, de nem valószínű, hogy ezt az értéket a gyakorlatban is sikerült volna hozni. A géppel 1940-ben 1800 km-es összhosszúságú teszteket végeztek, melyek eredménye lesújtó volt. A TP1-1 csak kis sebességeknél (25 km/h alatt) működött kielégítően, mivel nagyobb – főleg 45 km/h feletti – tempónál a szerkocsiban elhelyezett széngáz-generátor – amely óránként 4750 m³ gázt tudott előállítani – már nem tudta tartani a lépést a motor fogyasztásával, a széngáz kifogyott, ezért – amíg a generátor újra nem fejlesztett gázt – kb. 10-15 perig a teljesítmény nagy részét szolgáltató széngázmotor nélkül kellett tovább haladni. A gáz-levegő keverék aránya szintén nem volt megfelelő, állandóan idejekorán gyulladt be, ezen később a lökethossz csökkentésével segítettek (így csökkentették a kompressziót), de 1941-re a súlyosbodó háború végleg betett a rossz csillagzat alatt született projektnek. A TP1-1 soha nem közlekedett többet, további sorsa ismeretlen.

A szovjet gőz-dízel hibridmozdonyos kalandok 1948-ban a 8000-es sorozatú, háború előtti példány utódjaként megépített 2-10-2 tengelyelrendezésű 8001-es mozdonnyal zárultak. A gép ugyanúgy működött, mint elődje, de itt 5 volt a hajtott tengelyek száma és 8 (!!!) a dugattyúké, ami képzelhető, milyen bonyolult lehetett! A szintén Vorosilovgrádban elkészült mozdony a hivatalos feljegyzések szerint is egy katasztrófa volt, gyakorlatilag minden eleme elromlott a tesztek során. A harmadik baklövés után a makacs szovjet vezetés is belátta, hogy nincs értelme az öszvérmozdonyokkal tovább foglalkozni, így a projektet befejezte. A háborúban szolgált dízelmotoros tengeralattjárók motorjai egyébként is megfelelőek voltak – bizonyos kompromisszumok mellett – a mozdonyokba is, üzemképességük pedig messze jobb volt a kipróbálatlan hibridekéénél.



A 8000-es utódjaként megépített 8001-es dízelhibrid

Villany + gőzgép

Bár gépészetileg nem volt olyan bonyolult, mint a gőz-dízelmotordonyok, az biztos, hogy elsőre sokkal furcsábbnak hat a gőzösök és a villanygépek összeházasítása. Ez mód abból a szempontból kakukktojásnak számít az eddig tárgyaltak között, hogy nem számít igazi vegyes hajtásnak, mert nem a klasszikus villanymozdony és gőzmozdony hajtások vegyítéséről van szó, mindössze arról, hogy a gőzös kazánját nem szénrel, hanem elektromos áram segítségével fűti fel. Itt lehet szó mindössze elektromos előfűtésről (hogy a gőzgép hamarabb álljon készen), vagy teljes elektromos kazánról, amelynek tűzterében nem az égő szén, hanem elektromos hálózatról táplált fűtőszálak forralták fel a vizet. A megoldás előnye volt (a

gőzmozdonyokhoz képest) a jobb termikus hatásfok, illetve, hogy nem kellett külön fűtőt alkalmazni, viszont magának az elgondolásnak nem volt igazi előnye egy villanymozdonyhoz képest, miközben ugyanúgy elektromos rendszerrel, mint azok. A villany-gőzmozdonyok abban is különböznek az eddigiektől, hogy létrejöttüket nem valamilyen megszállott kísérletezési kedv, hanem a szükség hozta. Mindenesetre az áramszedős gőzmozdonyok annyira érdekes próbálkozások voltak, hogy megérnek egy rövid alfejezetet.

A svájci gőz-villamos tolatómozdony

Svájc vasútja a II. világháború alatt nem volt könnyű helyzetben. Jóllehet, maga az ország nem vett részt a konfliktusban, és közvetlen károkat sem igen szenvedett, annak gazdasági hatásai – elsősorban az üzemanyag és tüzelőhiány – érzékenyen érintette az akkor még viszonylag sok gőzmozdonyt közlekedtető Svájci Szövetségi Vasutakat. Svájcnak nem voltak saját szénbányái, sem olajmezői, viszont volt rengeteg vízierőműve, és villamosított vasútja. Kísérleti jelleggel ezért egy kicsi, 0-6-0-s tengelyelrendezésű állomási tolatógőzöst elektromos fűtőrendszerűvé alakítottak át, amely az ehhez szükséges áramot egy szokványos áramszedőn keresztül az ország vasútjainak 15 kV-os, $16\frac{2}{3}$ Hz-es hálózatából szerezte! A mozdony vezetőállásának tetején elhelyezett pantográf a kazánban lévő porcelánszigetelőket fűtötte fel, a gépen egy transzformátor is helyet kapott, amely a nagyfeszültségű, de kis áramerősségű áramot a fűtéshez kedvezőbb kisfeszültségű, nagy erősségűvé alakította. A mozdony teljesítménye elektromos módban 650 LE volt, fogyasztásának költsége sokkal kisebbre jött ki, mintha szénrel fűtötték volna, ezen felül a folyamat tiszta és kényelmes volt. A gépet egyébként úgy építették át, hogy a széntüzelési lehetőség továbbra is megmaradt. A szénhiányos időszak végével a gőzös villamos fűtése ugyan megmaradt, de újabb mozdonyokat már nem alakítottak át, selejtezésével pedig véget is ért ennek az érdekes hajtásnak a pályafutása. Az elektromos gőzmozdonyokra később nyomokban csak a fűtőházakban használt villamos előfűtés, illetve az zsebtelepekről táplált elektromos fűtésű gőzgépes mozdonymodellek emlékeztek.



A svájci gőz-villanymozdony

HÁRMAS ÜZEMŰ MOZDONYOK ÉS EGYÉB ÉRDEKESSÉGEK

Dízelmotor + külső táplálású villanymotor + akkumulátor

A kettős hajtású mozdonyokhoz képest is ritka, hármás üzemű mozdonyok olyan elektrodízelek, amelyek rövid szakaszokon akkumulátorokkal is haladhatnak. Ezzel zárt helyeken, villamosított és nem villamosított pályákon is tudnak közlekedni. Ezek állnak tehát a legközelebb a fejezet elején kívánt bárhol alkalmazható mozdonyhoz. Mindeztidáig egyetlen ilyen gép épült, az is lassan száz éve. A Chicago Railroad-nál szolgált egy „Three power boxcab” (hármás üzemű vezetőfülkés) nevezetű elektrodízel tolatómozdony 1920-ban. A gép raktárak kirakodásakor akkumulátorral üzemelt, amúgy a vonaltípustól függően dízelmotorjait, vagy áramszedőit használta (ezenfelül képes volt felsővezetékről és harmadik sínről is áramot venni). Kevés feljegyzés maradt fenn a sokéltű mozdonyról, valószínűleg a tesztek eredménye nem volt kielégítő, ezért selejtezték.



A hármás üzemű "Three power boxcab" Amerikából

Gázturbina + lineáris villanymotor + sugárhajtómű

Talán a legextrémebb megoldás volt az Amerikában kifejlesztett gázturbina-elektromos kísérleti kocsi, amelynek kerekeit nem hagyományos vontatómotorok forgatták, hanem lineáris motorokkal volt képes nagy sebességet elérni. A már a maglev-hajtásoknál is szóba került UTACV-kocsi működési költségeit fedező TACV (Tracked Air-Cushion Vehicle) program emellett még számos más érdekes jármű fejlesztéséhez is szolgáltatott pénzügyi alapot. A ma főleg turbófeltöltőiről és gázturbináiról híres Garrett 1972-ben épített egy lineáris motoros kocsit, amelyet LIMRV-nek (Linear Induction Motor Research Vehicle – Lineáris Indukciós Motoros Kutatási Jármű) neveztek. A LIMRV érdekessége volt, hogy a külső áramforrás helyett egy 3000 lóerős fedélzeti gázturbina biztosította a villanymotor áramellátását. A vonat a többi maglevvel ellentétben normál kerekes egységként működött, tehát hagyományos vasúti síneken is tudott közlekedni. További érdekesség volt, hogy mivel a mindössze

6,5 kilométeres tesztpálya nem volt elég hosszú a tervezett 400 km/h-s sebesség elérésére, ezért a kocsira két J-52-es sugárhajtóművet is szereltek, amelyek lerövidítették a gyorsuláshoz szükséges úthosszt. A sugárhajtóműveknek viszont megvolt az a hátránya (óriási fogyasztásuk és fűsüketítő hangjuk mellett), hogy annyira megnövelték az amúgy áramvonalas kocsi homlokfelületét, hogy a kívánt utazósebesség elérése után is bekapcsolva kellett hagyni őket annyira, hogy a saját maguk által okozott légellenállást kiegyenlítsék. Ezzel a hátránnyal a „nyakában” a motorkocsi viszont már nem volt több egy érdekes próbálkozásnál, ugyanis a tomboló olajváltás miatt senkit sem érdekelt egy – ugyan nagyon gyors – de hatalmas olajpocsékoló jármű. A LIMRV egyébként tényleg nagyon gyors volt; ezzel a konfigurációval 1974 augusztusában 411,5 km/h-s sebességet ért el, ami – lévén hogy kerekekkel is rendelkezett – 15 évig rekord maradt a hagyományos vasutak kategóriájában.



A LIMRV kísérleti kocsi

Jelenleg még nem, de a jövőben készülhetnek egyéb hármass üzemi mozdonyok, motorvonatok, vagy éppen városi kötöttpályás járművek. Ezek lehetnek felsővezetékéről táplált önjáró gépek, amelyek akkumulátorral és szuperkondenzátorokkal is működhetnek. Olyan üzemanyagcellás mozdonyok, amelyek emellett hidrogénüzemi dízelmotorral és akkumulátorral is fel vannak szerelve. A kombinációk száma igen nagy, és csak a mérnökök fantáziája – no meg a finanszírozók zsebének mélysége – szabhat gátat a jövő elképzeléseinek. Az biztos, hogy az elmúlt évszázadhoz hasonlóan a XXI. század is bővelkedni fog az újszerű, bátor, vagy éppen furcsa vasúti megoldásokban!

Felhasznált források és képek

<http://www.douglas-self.com/MUSEUM/LOCOLOCO/swisselec/swisselec.htm>

<http://www.railarchive.net/randomsteam/prr5526.htm>

<http://www.flickr.com/photos/wiseman2007/galleries/72157622524116752/>

<http://varosikozlekedes.hostzi.com/kepek/2011/02/traxx/2190024.jpg>

http://www.mommo.hu/media/MAV_Ikarus_260_

<http://www.origo.hu/auto/20120229-peugeot-3008-hybrid4menetproba.html>

<http://www.ecofriend.com>

<http://www.larsongroup.net/>

<http://www.railway-technology.com/projects/alameda/alameda2.html>

<http://www.railwaygazette.com>

<http://www.ecomagination.com>

<http://www.altenergystocks.com>

<http://en.responsejp.com/archive/2012/03/10.html>

<http://www.jakadam.hu/01fenykepeim/ev2010/09laevfejl2010.html>

<http://www.vonatmagazin.hu/2010/11/hibrid-keskenynyomkozu-mozdony-a-laev-en/>

<http://www.flickrriver.com/photos/hrs51/4615673945/>

<http://www.aditnow.co.uk/photo/Kennecott-Copper-Mine-Archive-Album-Image-43882/>

<http://www.ltmcollection.org>

<http://www.flickrriver.com/places/United+Kingdom/England/London/Ruislip/search/>

http://en.wikipedia.org/wiki/File:LT_battery_locos_at_Croxley_Tip_1971.jpg

<http://www.railway-technology.com/projects/yorktramtrain/yorktramtrain1.html>

<http://www.dkv.hu/hu/vegyes/ganz-solaris-trollino-12-12d-ganz-skoda-trollino-12d-2-2>

<http://inhabitat.com>

<http://www.hitachi-rail.com>

http://coldspringshops.blogspot.hu/2012_04_01_archive.html

<http://flickrriver.com/photos/peet/5639856113/>

<http://trainphilos.squarespace.com/home/tag/dual-mode-locomotives>

<http://www.train-photos.com/picture/number6987.asp>

<http://www.vehibase.com/baldwin-rp-210/photo-2.htm>

<http://www.destination360.com/north-america/us/new-york/nyc/grand-central-station>

<http://www.flickr.com>

<http://vakbarat.hodmezovasarhely.hu/oldal/kiemelt-palyazatok-projektek-2338>

<http://iho.hu/cimkek/tramtrain>

http://www.aviastar.org/pictures/usa/hall_flyingcar.jpg

<http://www.aqpl43.dsl.pipex.com>

<http://www.douglas-self.com>

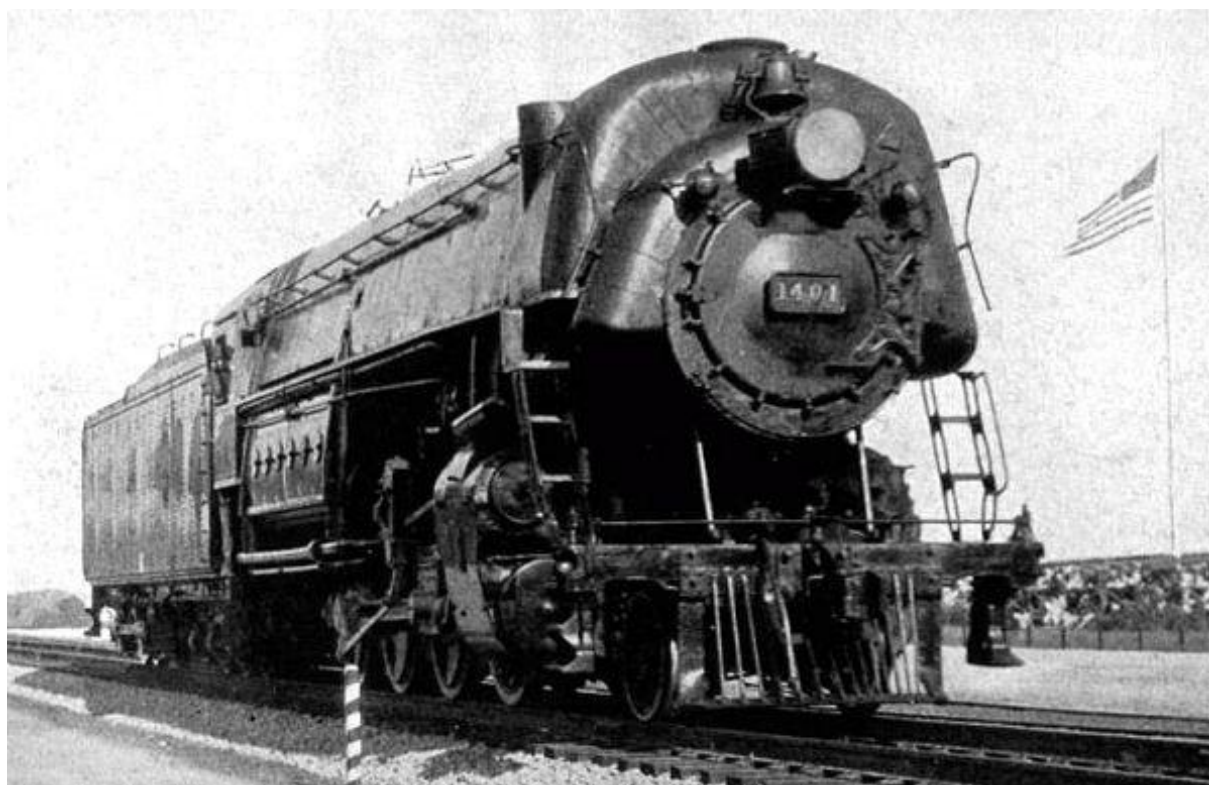
<http://www.steamindex.com>

Atkins, Philip (1999): *The golden age of steam locomotive building*.

Le Fleming H.M.; Price, John Horace (1960). *Russian Steam Locomotives*.

Ross, David (2003): *The encyclopedia of trains and locomotives*.

KÜLÖNLEGES GŐZMOZ- DONYOK



Bevezetés

A gőzmozdonyok működésével az I. fejezetben ismerkedhettünk meg. E masináknak 100 évig gyakorlatilag nem akadt vetélytársa a vasúti vontatásban, de teljesítményüknek még ennél is jóval tovább hasznát vették (és veszik) a világban. A dolgozat során többször volt szó a 20-as, 30-as évekről, amikor az addig korszerűtlennek tartott dízel- és villanymozdonyokról világossá vált, hogy a gőzmozdonyok már nem sokáig bírják a versenyt velük szemben. Egyre-másra döntögették a sebességrekordokat, teljesítményben már legalábbis egy szinten voltak a gőzösökkel, miközben egy teletöltve 2-3 tonnás gázolajtankkal rendelkező dízel motorkocsi 6-7-szer olyan messzire eljutott, mint egy gőzös a telerakott, 30-40 tonnás szerkocsijával. Az 1929-es válság és a II. világháború közötti időszak – amikor is az elszenvedett emberek nagy része vonatra ült vissza autójából – volt az, amikor a gőzösök már túljutottak életük csúcspontján, és helyüket sok tekintetben kezdték átvenni a korszerűbb dízel- és villanymozdonyok. Ebben az időszakban a másik két hajtással még öltre menő „háború” dúlt, és ennek a versengésnek köszönhetően a legszebb és leggyorsabb gőzmozdonyokat köszönhetjük ezeknek az éveknek. Utóbbi miatt sokan ezt a bő 10 évet tartják a gőzösök fénykorának, és ekkor még a mérnökök közül is többen úgy tartották, hogy megfelelő fejlesztéssel, új technikai trükkök bevezetésével a gőzlokomotívok „megmenthetők”. Ez az álom a II. világháború után, a korszerű és erős dízelmozdonyok, illetve a gyors elektromos motorvonatok elterjedésével foszlott végleg semmivé. Mostani fejezetünk a gőzösök körében kipróbált különleges megoldásokkal foglalkozik.



Balra: Szimbolikus kép a Chicago és Minneapolis-St. Paul ikervárosok között közlekedő Zephyr szuperexpresszekről. Az 1938-ban elindított járat áramvonalas dízel motorvonatokkal (a képen jobbra) működött, de félve a kipróbálatlannak számító technológiától, építettek egy 4-6-4 tengelyelrendezésű gőzöst is (a képen balra). Jobbra: a sokak szerint a gőzmozdonyok sírját véglegesen megásó GM F-sorozatú dízel-villamos mozdonyok prototípusa. A gépek hatalmas sikernek örvendtek és új divatot is indítottak a mozdonyépítés területén

ULTRAMAGAS NYOMÁSÚ GŐZMOZDONYOK (SZUPERGŐZÖSÖK)

Hogyan emeljük egy gőzmozdony teljesítményét? – „tuningtippek” gőzmozdonyokra

Nicolas Léonard Sadi Carnot, akiről a Carnot-körfolyamat a nevét kapta, képletében definiálta, hogy egy hőerőgép hatásfoka annál nagyobb, minél magasabb a munkavégzés

kezdeti-, és minél alacsonyabb a vég hőmérséklete. Egy tökéletes – minden befektetett hőmennyiséget munkává alakító – hőerőgép ezek szerint tehát végtelen nagy hőmérsékleten kezdi el az expanzióütemet és/vagy a folyamat végére hőmérséklete 0 kelvinre, azaz az elképzelhető legkisebb hőmérsékletre esik vissza. Ez természetesen lehetetlen, ezért nem létezik 100 %-os hatásfokú hőerőgép. Az egy ciklusban végzett munka mennyiségét viszont lehet növelni, ha a kezdeti hőmérsékletet megemeljük, tehát egy gőzmozdony esetében a kazánban megtermelt gőzt tovább hevítjük, és/vagy a vég hőmérsékletet csökkentjük, azaz a hengerekben az expanzióütem hosszát (így a kitáguló gőz kisebb nyomású lesz, azaz alacsonyabb hőmérsékletűre hűl le) a hengerek méretének megnövelésével elnyújtjuk. A gőzvontatás történetében mindkettővel próbálkoztak a szakemberek.

Utóbbi, azaz a nagyobb hengerek használata sok problémát vetett fel, mert azok mérete több okból sem lehetett túl nagy. Az óriási cilinderek tömege túlzottan megnőtt volna, ami rontja súlyelosztást, sőt egy ponton túl nem is fért volna el a mozdonyon. A hatalmas dugattyúk ezen felül olyan tömegeket szabadítottak volna fel nagy sebességnél, aminek elviseléséhez tovább kellett volna erősíteni a főkeretet, azaz még nehezebb lett volna a mozdony, ez viszont lehet, hogy elvitte volna a nagyobb hengerekkel nyert plusz teljesítmény kedvező hatását. Ha ez nem lett volna elég, a nagyobb felületekből eredő extra súrlódás a dugattyú és a hengerfal között hamarabb tönkretette volna mindkét alkatrészt, ennek állandó cserélgetése pedig nem éppen olcsó megoldás.

A kazánnyomás növelése, azaz a megtermelt gőz további hevítése egy időben jó elgondolásnak tűnt arra, hogy a gőzösöket újra versenyképesse tegye a dízelmozdonyokkal szemben. Az ilyen, különleges kazánokkal épült mozdonyokat hívjuk ultranagy nyomású gőzmozdonyoknak, vagy szupergőzösöknek. A gőzmozdonyok e típusának kazánjában az ezen a területen megszokott, 10-20 bar-os nyomásnál jóval nagyobb uralkodott, bár eltérések az értékek között a típuson belül is voltak. Általában a 25 bar feletti nyomású gépeket már magasnyomású gőzösnek hívták, de az igazi szupergőzösök ennél sokkal nagyobb, 50-120 bar (!!!) nyomáson üzemeltek, és kazánfűtő, gőzelosztó rendszereik is jóval bonyolultabbak voltak a hagyományos társaikénál.

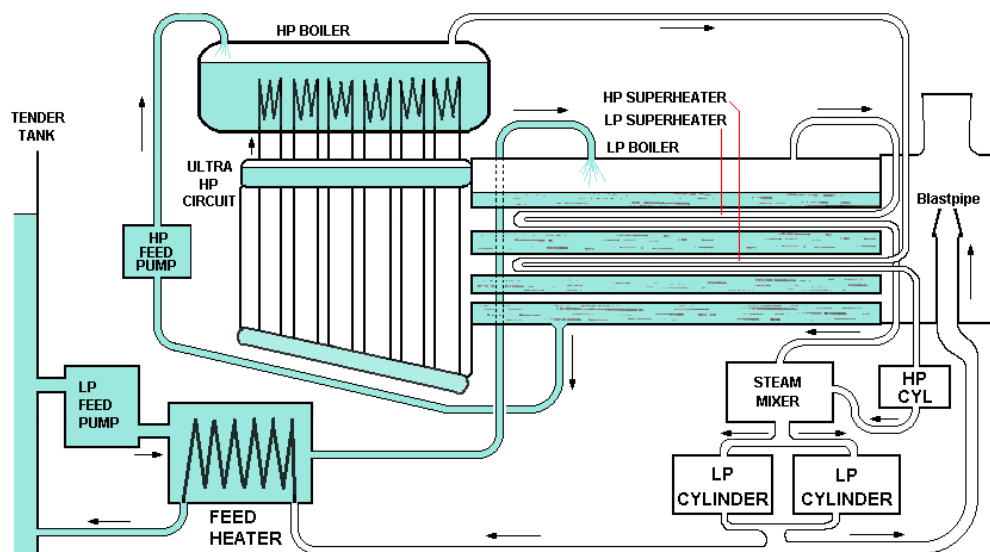
A nagyobb gőznyomásnak köszönhetően ugyanakkora hengerekkel nagyobb teljesítmény érhető el, vagy ugyanakkora teljesítményt kisebb hengerek is ki tudnak fejteni, tehát elméletileg kisebb gépezet szükséges. Ugyanez alapján hódítanak manapság a kisméretű turbómotorok az autógyártásban, hiszen egy feleakkora, de feltöltött motorral ugyanakkora teljesítményt lehet elérni, mint egy nagyobbal, miközben a kis motor sokkal könnyebb, illetve a kisebb felületek miatt nincs akkora súrlódás és veszteség sem. A szupergőzösök körében megszokott hatalmas nyomások azonban több, addig nem látható hátrányt is magukkal hoztak. A fent említett 50-120 bar-os értékek esetén a kazánt nem elég csak megerősíteni, illetve a fűtőrendszer szállítási teljesítményét megnövelni, ráadásul a hagyományos, tűzcsöves kazánok sem megfelelők ekkora nyomáshoz. A gőzmozdonyokat – és úgy általában a kazánokat – sújtó másik nagy, de kevésbé ismert „átok”, a vízkő és a rozsda ekkora méretekben életveszélyes lehet. A nagy nyomásoknak köszönhetően a gőzhengerek kisebbek lehettek, viszont ugyanez miatt vastagabb falakat kellett használni a kazánokon, a gőzcsöveknél és magánál a hengernél is, ami igen megnövelte a gőzmozdonyok tömegét. Az ebbe a típusba tartozó gépek emiatt leginkább egy „szteroidozott” hagyományos gőzmozdonyra, vagy vasúti tankra emlékeztettek, kinézetük pedig inkább volt félelmet keltő, mint tiszteletet parancsoló, vagy szemet gyönyörködtető.

A szupergőzösök előnyei és hátrányai

Az óriási nyomások miatt a szupergőzösök esetében a hagyományos fűtőrendszerek szóba sem jöhettek. Egyrészt fogyasztásuk lényegesen meghaladta azt a mennyiséget, amit egy fűtő óránként be tudott lapátolni a tűztérbe (egy átlagos ember teljesítménye 2-2,5 tonna volt óránként, bár ez már igen nagy igénybevételnek számított, és huzamosabb ideig nem is lehetett végezni), ezért az ilyen mozdonyokat gépi fűtőberendezésekkel szerelték fel. Később a fűtő munkáját megkönnyítő szerkezetek egyébként hagyományos nagyteljesítményű gőzösökön is megjelentek. A gépi tüzelő (angolul stoker) szénttüzelés esetén egy Arkhimédieszi spirál volt, (olyan, mint a húsdarálók belseje) amely csavarmenetben szállította a szenet, amit aztán gőzsugárral terítettek szét a rostélyon. Pakura- és gázolajtüzelésnél pedig egyszerű befecskendezőfúvókákról volt szó, amiket a fűtő kezelte. Nagyobb probléma volt, hogy ekkora nyomásoknál a normál tűzcsöves kazánok nem voltak megfelelőek, ezért ilyenkor az újfajta vízcsöves kazánokat építettek be, amelyeknél nem a csövekben haladó forró gázok hevítették fel a körülvevő vizet, hanem a vízcsövek haladtak a forró térben, így a fűtőfelület is megnövekszik. A néhány elkészült szupergőzös fűtőrendszerei között is voltak eltérések. Ezek közös pontja volt, hogy nem egy gőzfejlesztő körrel rendelkeztek, mert az ultranagy nyomású kazánrészt biztonsági okokból izolálni kellett. A gyakorlatban is megvalósult fűtőrendszerek voltak a Schmidt-, és a Schwarzkopff-Löffler-típusúak.

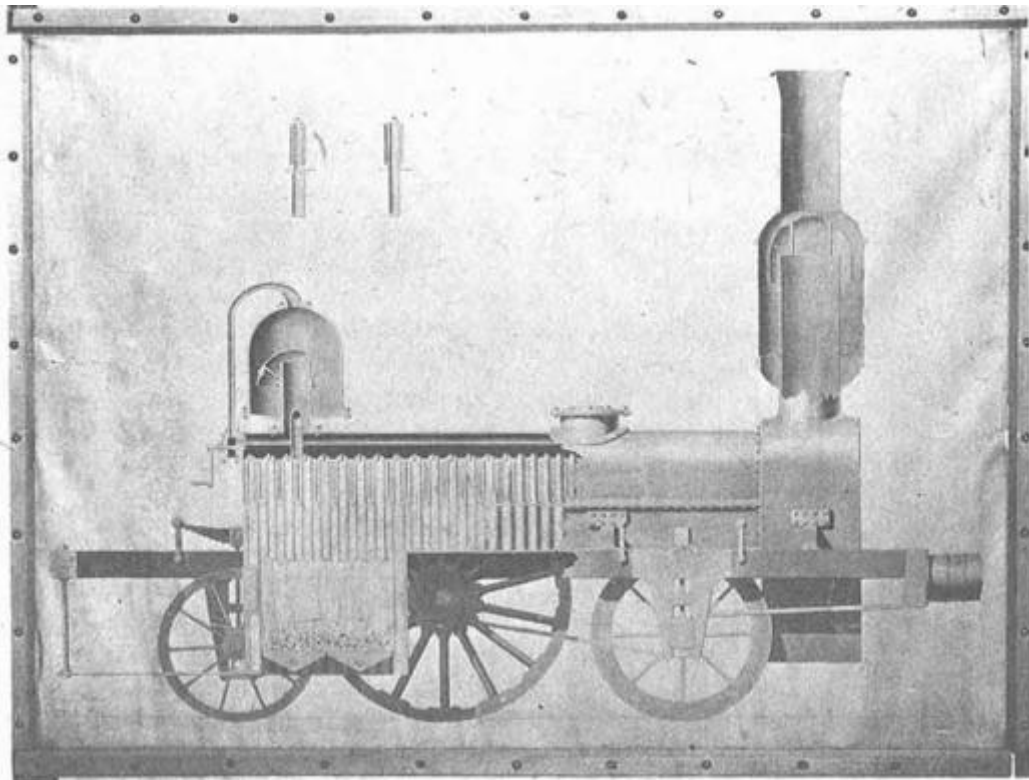
A Schmidt-féle fűtőrendszer

A kettő közül a bonyolultabb, a három gőzkört tartalmazó Schmidt-rendszer volt. A 3 kör (ultranagy-nomású, a nagynyomású és a kisnyomású) fizikailag elkülönült egymástól, a mozdonyokat tápvíz-előmelegítővel is felszerelték. Az ultranagy-nomású rendszer teljesen zárt volt, nyomásálló tartállyal és csövekkel, valamint a vízkőképződés és a korrózió megelőzése érdekében tápvízként desztillált vizet használtak, ez tehát soha nem érintkezett mással. Ez a kör hőcserélőkön keresztül forralta és hevítette fel a második, nagynyomású kör tápvizét (ez már a szerkocsiból érkezett), amelyet a nagynyomású gőzhengerekbe tápláltak, illetve amellyel a harmadik, alacsony nyomású kör tápvizét fűtötték.



A Schmidt-féle háromkörös kazán működése

Az alacsony nyomású kör gőzével a hajtották az alacsony nyomású hengereket, illetve egyéb kiegészítő berendezéseket (a nagynyomású gőzösökre jellemző volt az egyébként ritkán használt háromhengeres elrendezés). Az ultranagy nyomású kör üzemi nyomása elérte a 80-120 bart, a nagynyomású ennél valamivel alacsonyabb, 50-60 baron dolgozott, a hagyományos gőzmozdonyoknál megszokott 12-17 baros érték itt csak az alacsony nyomású körhöz volt elég. A Schmidt rendszer hatásfoka és üzemkészsége bonyolultságához képest igen jó volt, de a rengeteg cső és egyéb szerelvény miatt fenntartása igen drágának bizonyult. A megvalósult szupergőzösök nagy része Schmidt-féle rendszerrel épült meg. A rendszer gyökerei a XIX. század elejére nyúlnak vissza, ekkor alkalmazták először a teljesen zárt fűtőrendszert, 1836-ban, egy háromtengelyes korai gőzmozdonyon.



A világ első, teljesen zárt gőzkörét alkalmazó gőzmozdony 1836-ból, építette Jacob Perkins

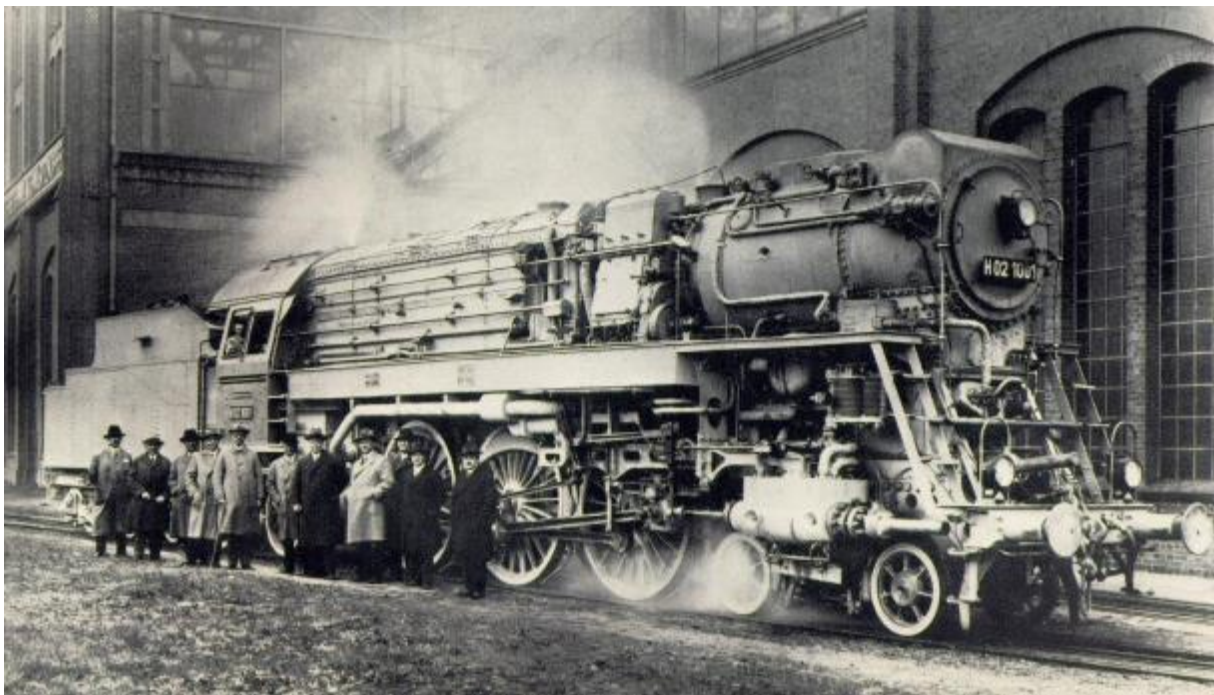
A Schwarzkopff-Löffler fűtőrendszer

A csak egyetlen mozdony által használt Schwarzkopff-Löffler rendszer csak két gőzkörrel működött, de szerkezete szintén igen bonyolult volt. Ötletes megoldásnak számított, hogy a vízkőképződést úgy akadályozták meg, hogy a nagynyomású kazánrészbe nem vizet, hanem egyből gőzt engedtek. Ezt a gőzt a szerkocsiban elhelyezett gőzgenerátorban termelték meg, majd telített állapotból a nagynyomású fűtőfelületek segítségével túlhevítették. A nagynyomású gőz negyed részét ezután a (mozdony közép vonalában elhelyezett) nagynyomású hengerbe vezették, a háromnegyedét pedig vissza a szerkocsiba, ahol a már említett gőzgenerátort látta el. A nagynyomású gőz a szerkocsiba érkezés előtt áthaladt az alacsony nyomású kör tápvíz-előmelegítőjén, majd a alacsony nyomású kazánon, így keletkezett a alacsony nyomású kazánrészben is gőz. A nagynyomású kör még keresztülhaladt a alacsony nyomású túlhevítőn, majd a kondenzátoron újra tápvízzé alakult vissza. A alacsony nyomású kör gőze túlhevítés után a alacsony nyomású hengerekben expandált, majd a szélcsövön keresztül távozott (közben a huzatot javí-

totta). Mint a leírásból látszik, a Schwarzkopff-Löffler tényleg elég bonyolult rendszer volt, rengeteg csővel, és különböző fűtőfelületekkel.

A német DRG H2-1001 „Hochdruck”

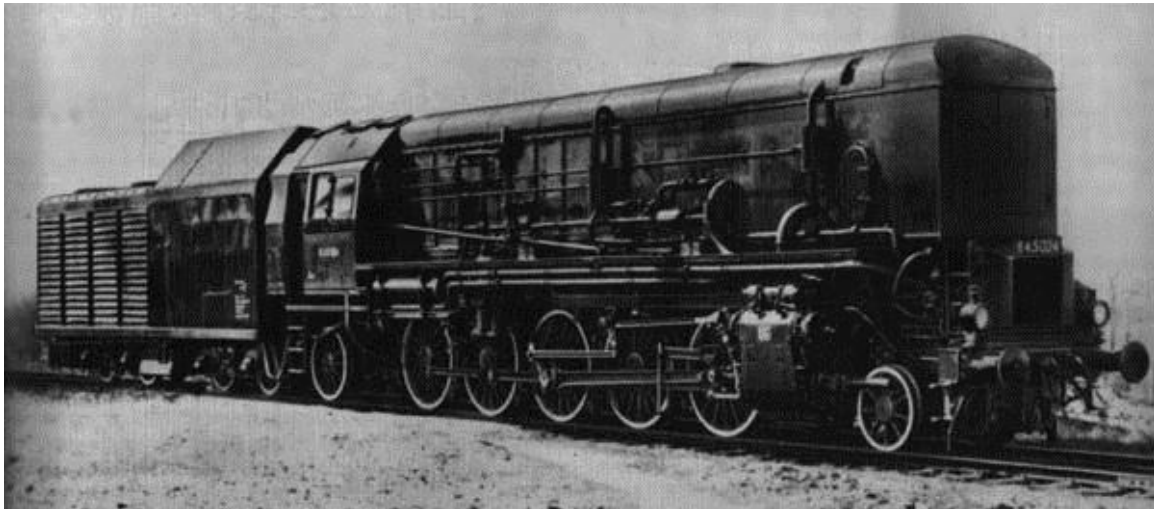
Az egyetlen mozdony, amely a Schwarzkopff-Löffler gőzrendszert használta, az 1930-ban megépült német DRG H2-1001 volt. A gépet nemcsak az eredeti hatásfok-növelő törekvések hívták életre, hanem az is cél volt, hogy a kis tengelynyomásra engedélyezett pályákra is lehessen nagyteljesítményű gőzmozdonyt engedni. A 1'C2' (4-6-2) tengelyelrendezésű, 2600 lóerős lokomotív 1930-ban került a DRG-hez. A középen elhelyezett nagynyomású henger mindössze 220 milliméter átmérőjű volt (a normál mozdonyoknál 600-700 milliméteresek sem ritkák), ezt 105 bar nyomású, csaknem 500 °C-ra túlhevített (!!!) gőzzel táplálták. A két szélső, alacsony nyomású henger jóval nagyobb, 600 milliméteres volt, ezekbe 17 baros gőz érkezett. A gép végsebessége 110 km/h, tömege 115 tonna volt teljesen kisserelve. A gyártó 42 %-os szénmegtakarítást ígért egy ugyanekkora teljesítményű hagyományos gőzöshöz képest, de ez a gyakorlatban soha nem valósult meg. A gép üzemkésztsége szörnyű volt, és a bonyolult Schwarzkopff-Löffler rendszer igen sok törődést igényelt. A próbák után ezért a DRG visszaszolgáltatta a mozdonyt a gyártónak, amely hagyományos gőzössé alakította azt.



A H 02-1001 "Hochdruck"

Nem volt ilyen extrém, de nagy kazánnyomása, és származása miatt idetartozik az 1951-ben elkészült H45-024-es gőzmozdony. Kazánja egykörös vízcsöves rendszerű volt 45 bar csúcsnyomással, a mozdony porított barnaszénrel üzemelt. A gép alapjait egy háromhengeres normál gőzmozdony szolgáltatta, amelynek középső hengerét egy kicsi, nagynyomású darabra cserélték le. A géppel két tesztutat tettek meg, de a kondenzátorok mindkét esetben néhány kilométer után meghibásodtak. A próbákat nem folytatták, a gépet félreállították. Az 1E1 (2-10-2) tengelyelrendezésű gőzöst egyébként nehéz tehervonati szolgálatra

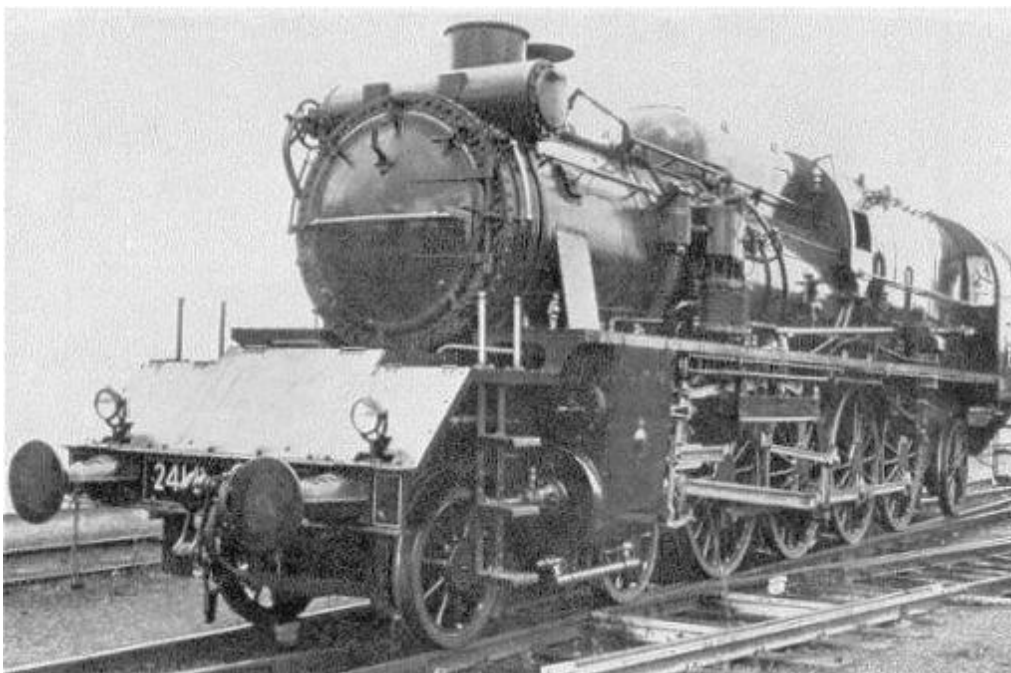
szánták, de a csalódást keltő teszteredmények miatt soha nem került menetrendi forgalomba. 1961-ben szétvágták, alacsony nyomású hengereit, és futókerekeit egy ma is üzemelő 4-6-2-es gőzös kapta meg.



A H45-024

A PLM 241 B1 szupergőzös

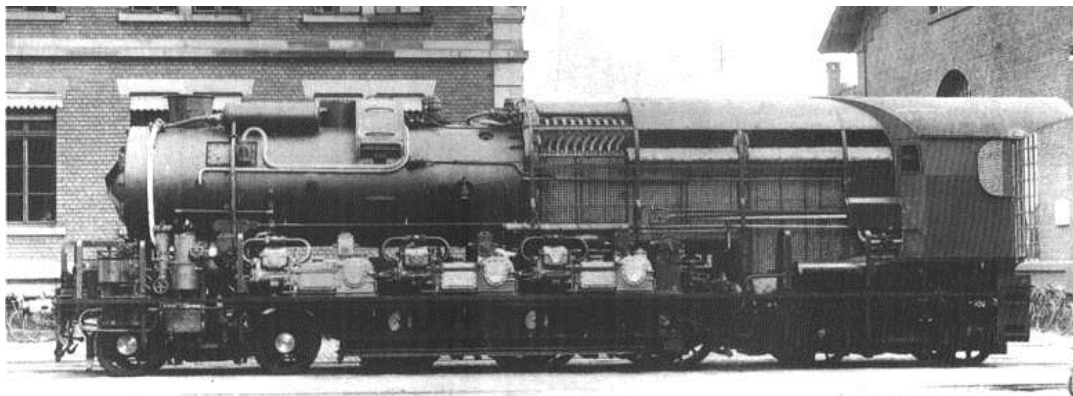
Gyártási helyét tekintve szintén német volt, de Franciaországban szolgált a címben szereplő mozdony. A gépet a világhírű Henschel mozdonygyár építette a francia PLM (Paris, Lyon & Mediterranean) vasúttársaságnak 1929-ben, gőzfejlesztő rendszere Schmidt-típusú volt. A maximális gőznyomás elérte a 110 bart, a teljesítmény pedig a 2530 LE-t, ez szintén 110 km/h sebességet tett lehetővé. A gép rossz eredményeket produkált, ezért néhány év szolgálat után selejtezték.



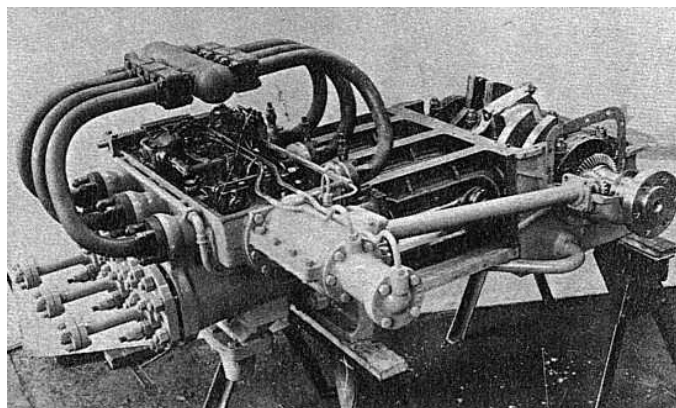
A PLM számára gyártott super-gőzmozdony

A 232.P1 kísérleti gőzmotoros mozdony

Az eddig tárgyalt szupergőzösök különböztek a hétköznapi társaiktól egyrészt a kazánnyomás nagyságában, másrészt a gőzfejlesztés módjában, ám a gőzhenger „utáni” folyamataik – azaz a kerekek meghajtása – ugyanúgy csatlórudakkal, a hengerek vezérlése pedig kulisszás szelepvezérművel történt. A most tárgyalt 232.P1-es mozdony ebben is különbözött a többitől. A gépet 1936-tól 1939-ig tervezték és építették, ikertestvére, a 232.Q1-es külsőre majdnem ugyanígy nézett ki, de az gőzturbinás hajtást kapott (lásd a Gőzturbinás mozdonyok fejezet „Franciaország – a háború közbeszól” c. szakasz). A 4-6-2 tengelyelrendezésű gép szintén nem szűkölködött a rendhagyó technikai megoldásokban; minden hajtott tengelyére kísérleti célból két darab Uniflow-rendszerű, háromhengeres, gyorsjárású gőzmotort szereltek (működését lásd keretes írásban). A motorok fogaskerék-áttételen keresztül forgatták a tengelyeket, és hogy a hat erőgép fordulatszáma egyforma legyen (ne pörögjenek ki a tengelyek egymástól függetlenül) azokat egy, a mai, nem állandó összkerék-hajtású autókhoz hasonló hidraulikus kuplunggal kötötték össze. A mozdony Schmidt-rendszerű (de csak kétkörös) nagynyomású gőzfejlesztővel volt felszerelve, a kisnyomású kör 20 bar, a nagy 60 bar-on üzemelt (a teljesen izolált ultranagy-nyomású gőzkör itt hiányzott). A nagynyomású kör látta el gőzzel a 6 motort, és egyben a kisnyomású kör működtetéséért is felelt. Amiatt, hogy két-három helyet 18 (!!!) hengerre voltak elosztva a tömegezők, és nem voltak csatlórudak sem, a mozdony futása igen jó volt, a teszteken mégsem teljesített kielégítően. A gőzmotorok jól működtek, de hiányzott hozzájuk a megfelelő szervizhátér, és a komplex kazánok is túl sok törődést igényeltek. A gépet emiatt a II. világháború után normál mozdonyra építették át, és új borítást is kapott.



A francia 232.P1 gőzmotoros (fent) és az egyik soros háromhengeres uniflow-gőzmotorja (lent)



Az Uniflow rendszerű gőzmotor

Az ún. Uniflow gőzmotor olyan gőzgép, amelynek egy adott hengerterében az expanzió iránya mindig ugyanaz (innen a neve, ami magyarra fordítva durván „egy-áramú”-t jelent). A hagyományos, többek közt a gőzmozdonyok erőgépeként is elterjedt (crossflow) gőzgépekben a gőz mindig a teljes lökethosszon végez munkát, azaz a hengertér egy adott keresztmetszetében minden félfordulatnál változik az expanzió iránya. Ez termodinamikai szempontból nem előnyös, mert a kitágult gőz lehűl, és ezzel a hengerfal hőmérséklete is csökken, a következő hengertöltet energiájának egy része a fal újramelegítésére fordítódik, azaz kárba vész. Az Uniflow motorok felépítése sok tekintetben a mai belső égésű motorokéra hasonlít. A gőz hengerbe jutását egy bütykös szelepvezérmű-tengely által vezérelt szelep teszi lehetővé. A gőzhengert a dugattyú a normál gőzgépekhez hasonlóan két munkatérre osztja, így a henger mindkét végén ki van alakítva a szelepvezérlés. Az Uniflow motor egy munkaciklusa a következőképpen néz ki:

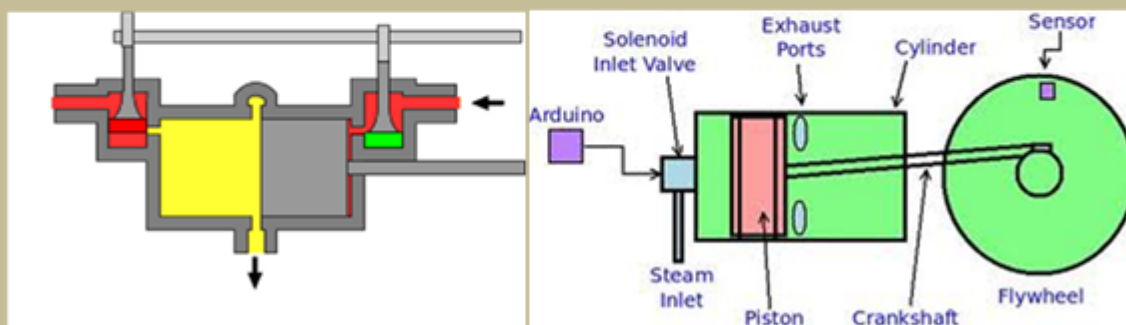
- 1.) A dugattyú a felső holtpontra ér, a szelep nyit, a nagynyomású gőz beáramlik
- 2.) A szelep bezár, a gőz elkezd tágulni (munkát végezni)
- 3.) A gőzhenger teljes löketének a feléhez érve a dugattyú szabaddá teszi a kétütemű motorokhoz hasonlóan a hengerpalástban, körben kialakított gőzkipufogónyílásokat, amin keresztül a gőz eltávozik. A másik munkatérben kinyit a szelep és beengedi a frissgőzt.
- 4.) A dugattyú elindul visszafelé, közben zárja a kipufogónyílásokat. A dugattyú haladását másik munkatérben időközben elkezdődő expanziós ütem biztosítja.
- 5.) A dugattyú elér a felső holtponthez, a másik munkatérben a kipufogónyílás szabaddá válik és a gőz eltávozik. Az egész folyamat kezdődik előlről.

Ez a munkafolyamat csak olyan dugattyúval tartható fent, amelynek palásthossza a henger lökethosszának a felével egyezik meg, így, amikor az egyik hengertérben teljesen lezajlott az expanzió, a másikban éppen a felső holtpontban lehet a dugattyú másik fele. Az Uniflow-motorok megszokott fordulatszáma egy ugyanolyan teljesítményű hagyományos gőzgépénél majdnem kétszer nagyobb, azaz a motor lökettérfogata csaknem a fele lehet, ezáltal kisebb helyet foglal el. A belső égésű motorokhoz hasonló szelepvezérmű kialakítása egyszerűbb, mozgatásának teljesítményigénye töredéke a nehéz csatlórudazatokhoz, forgattyúkéhoz képest, ezenfelül a vezérműtengely fokolásával változtatni lehet, hogy mikor történjen a gőzbeömlés. Mivel elméletileg a henger egy keresztmetszetében mindig ugyanolyan hőmérséklet uralkodik (a henger lökete mentén nagyjából egyenletesen változik a hőmérséklet, azaz a hőmérséklet-gradiens közel állandó), könnyebb hőtágulásra méretezni a hengeridomot (a forróbb részeket a nagyobb hőtágulás miatt kisebb átmérőjűre kell készíteni). Az Uniflow-motorokat a belső égésűekhez hasonlóan többhengeres (2,3 vagy 4) és általában soros kivitelben alkalmazzák, így a hengerek kioltják valamelyest egymás tömegezőit. A motorokkal a hajtott tengelyeket

fogaskerék-kapcsolaton keresztül hajtják meg, ez pedig jóval egyszerűbb és kisebb helyet foglal, mint a csatlórudak.

A gőzmotorok legtöbb hátránya a nagy fordulatszámából ered. Az egyes szerkezeti elemek a normál gőzgépekhez képest nagy igénybevételnek vannak kitéve (emiat drágább a motor gyártása), a szelepvezérműveket nagyon pontosan kell kidolgozni, illetve a kisebb forgótömegek miatt lendkerekekre van szükség. A már előnyként említett állandó hőmérséklet-gradiens a gyakorlatban nem mindig valósul meg, és ha a precízen megtervezett hengerek hőhátartása felborul – például víz kerül a gépezetbe – az a motor azonnali tönkremeneteléhez vezethet.

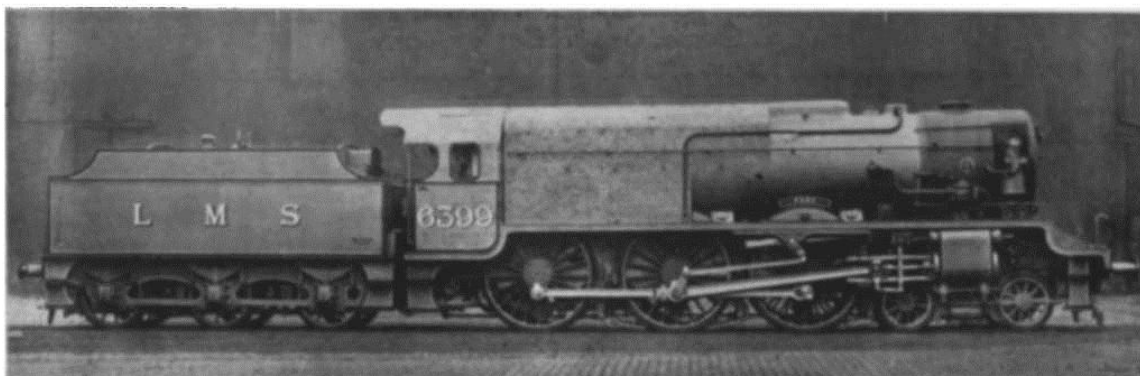
A hagyományos gőzgépek mellett az ilyen egyáramú gőzmotoroknak is volt egy kevés szerepe a vasúti (és a korai közúti) közlekedésben, de a vasúton kevésbé a gőzmozdonyok, inkább a rövid ideig elterjedt gőzmozdonyok körében voltak „népszerűek”.



Egy kétszeres-, (balra) és egy egyszeres (jobbra) működésű Uniflow-gőzmotor keresztmetszete. A kétszeres működésű egyik hengerterében éppen kipufogás zajlik, a másikban a gőzbeömlés kezdődik meg

LMS Fury: a halálos fúria

THE "IRON HORSE" OF 1930.

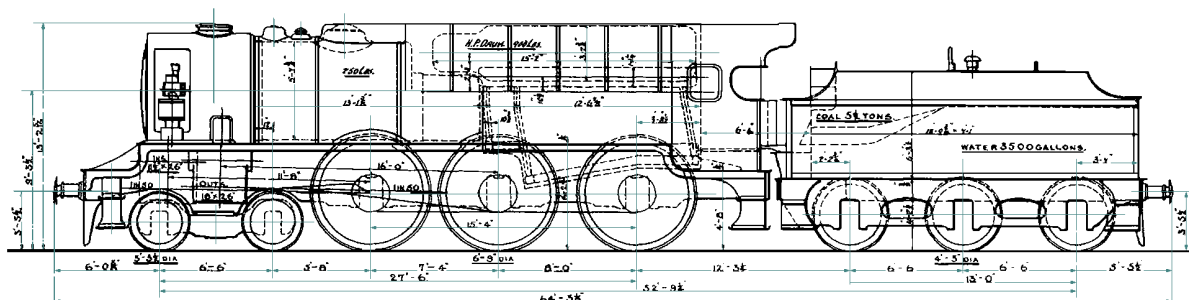


The new high-pressure steam locomotive "Fury," of the L.M.S. Railway.

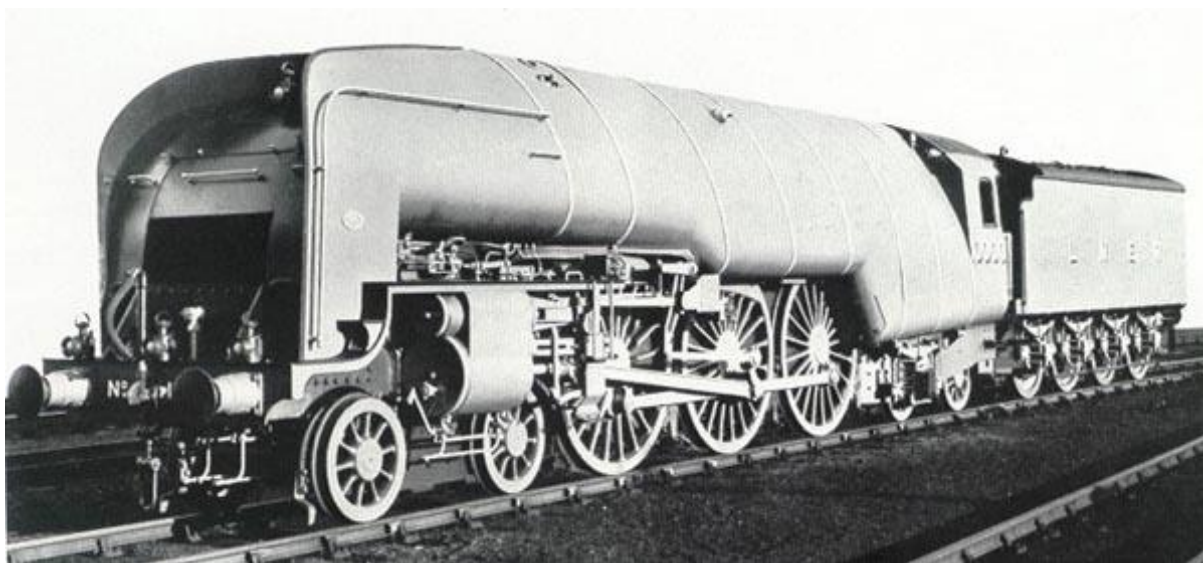
Az LMS 6399 "Fury"

Angliában a 20-as évek közepén-végén kezdték meg az ultranagy-nyomású gőzösök kifejlesztését. Az első mozdony az 1929-ben az LMS vasúttársaság számára épített 2'C (4-6-0-

s) tengelyelrendezésű „Fury” (Fúria) volt. A gépet decemberben adták át a vasutaknak. Gőzrendszere háromkörös Schmidt-rendszerű volt, az ultranagy-nyomású gőztérben 125-, a nagynyomásúban 62,5-, a kisnyomásúban 17 bar volt az üzemi nyomás. Néhány hónapos üzem után az ultranagy-nyomású gőzkörben egy cső elrepedt és felrobbant, megölve egy karbantartót, aki épp a vezetőálláson tartózkodott. A helyreállítása után folytatták a teszteket, de a bonyolult kazánrendszer nem nyerte el a vasúttársaság tetszését. Nincsenek feljegyzések arról, hogy mi történt a géppel, de valószínűleg selejtezték.

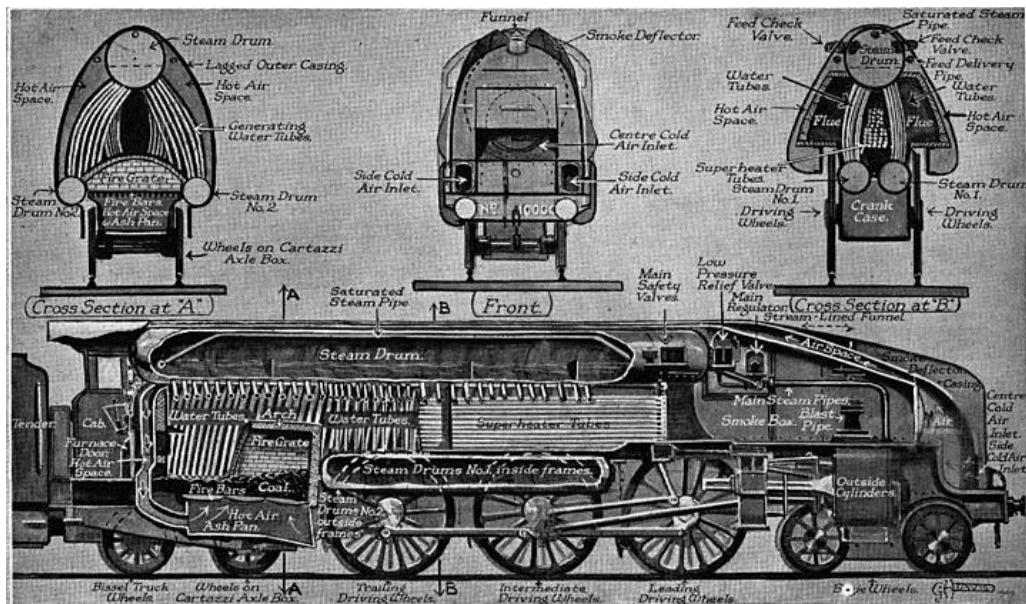


LNER 10000 „Hush hush”



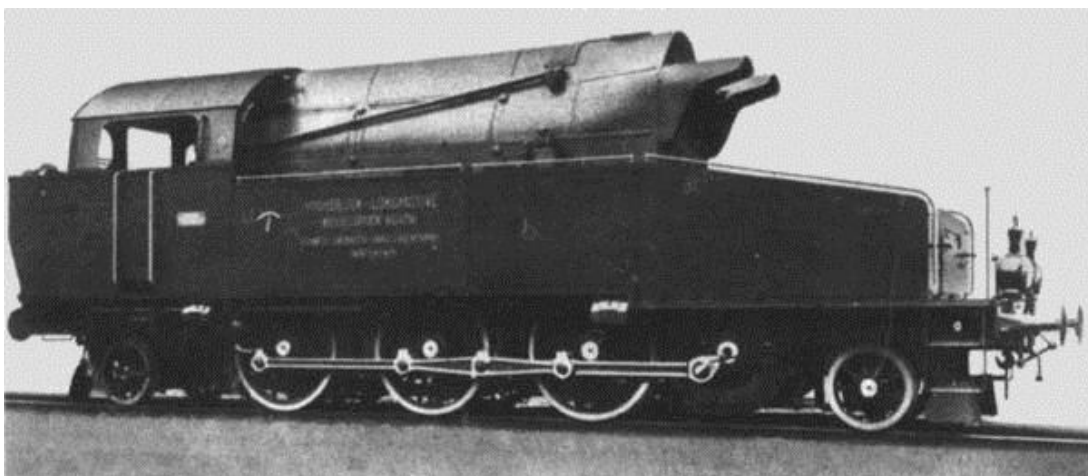
A szupergőzösök közül talán a legszebb a szintén 1929-ben elkészült, 10000-es számú, LNER-nél szolgált gőzmozdony volt. A gép nem használt különleges kazánrendszert, mindössze egy gőzkörrel rendelkezett. A mozdonyt – melynek beceneve „Hush hush” lett a készülését övező hatalmas titkolózás miatt (a „hush hush” egy szófordulat az angolban, amikor valakit udvariasan csitítani akarnak) – a világ leggyorsabb gőzösét, az A4 „Mallard”-ot is építő Sir Nigel Gresley tervezte, akinek elsődleges célja nem a teljesítmény emelése, hanem a gőzfogyasztás csökkentése volt. A 2'C2' (4-6-4) tengelyelrendezésű gőzös maximális kazánnyomása a szupergőzösökhöz képest alacsony, 32 bar volt. A mozdonynak nem volt kiemelkedő kéménye, a füstelvezetést szélcsatorna-teszteken tökéletesítették, a gép elejének kialakítása olyan volt, hogy egyben a jobb huzatképzést is elősegítette. Az első próbák során kiderült, hogy nem lehet a tervezett gőznyomást elérni a kazánnal, ezért egy plusz túlhevítőt terveztek a mozdonyba. A helyzet javult ugyan, de a nagynyomású kazán hatásfoka annyira

rossz volt, hogy a gépet már nem tervezték újra, hanem hagyományos gőzössé alakították vissza 1936-ban.



A svájci Eb/5 – „a világ legcsúnyább gőzmozdonya”

Svájcban 1927-ben készült el az első szupergőzös. A kereszttségben az Eb/5 nevet kapó mozdony nem volt éppen szép szerzet, noha több újítást is felvonultatott. Az 1C1 (2-6-2) tengelyelrendezésű gép természetesen nagynyomású (de csak egykörös) kazánnal épült, maximális kazánnnyomása 59 bar volt. A kazán tápvíz-előmelegítővel volt felszerelve, de még az előmelegítés előtt a gőzhengerek hulladék-hője is melegítette a vizet, tehát „tápvíz-előmelegítő” is volt a furcsa kinézetű mozdonyon. A tüztérbeli égést tápláló levegőt a kazán felett vezették be, ami így szintén előmelegedett. A mozdony másik különlegessége a főkeret elejére szerelt háromhengeres, kettős működésű Uniflow-rendszerű gőzmotor volt. Ez a gőzgép egy – gőzmozdonyoknál teljesen szokatlan – fokozatmentesen változó áttételű sebességváltón (amelynek módosítása 1 és 2,5 között változhatott) és forgattyús mechanizmuson keresztül hajtotta meg a három tengelyt.



A furcsa kinézetű Eb/5 gőzmotoros nagynyomású gőzös

A 800 lóerős gőzmotor fogyasztása igen jó volt; mintegy 40 %-kal kevesebb szenet használt fel ugyanakkora táv megtételéhez, mint egy hasonló normál gőzmozdony, ezen felül az emelkedőket is jobban bírta. A kazánban azonban igen erős vízkőképződés volt tapasztalható, amit a tervezőbrigád szerint ki lehetett javítani. Ennek ellenére a mozdonyról nem maradt fenn feljegyzés a teszttutak utánról. Az Eb/5-össel a próbák során jártak Ausztriában és Franciaországban is, ahol annyira megtetszett a jelenlevő mérnököknek a gőzmotoros megoldás, hogy ennek nyomán építették meg a már ismertetett 232.P1-es kísérleti gőzmozdonyt.

CPR 2-10-4, a kanadaiak próbálkozása

Kanada egyetlen szupergőzőse a Schmidt-rendszerű kazánt használó, 1931-ben elkészült 8000-es számú mozdony volt. A három gőzkör üzemi nyomása rendre, 92, 59 és 17 bar volt. A háromhengeres mozdonyt a típusnál szokásos módon – a középső hengert a nagy nyomású, a két szélsőt a kisnyomású kör táplálta – hajtották meg. Szénfogyasztása a Schmidt-kazánoknak megfelelően kisebb volt egy normál gőzösénél, azonban a különleges megoldások miatt megnövekedett szervizköltségek miatt szintén nem lett sikeres a mozdony. Az 1E2 (2-10-4) tengelyelrendezésű gépet mintegy 5 évig, 1931 és 1936 között használták nagytömegű hegyi teherforgalom lebonyolítására, majd leállították, és 1940-ben szétválták.



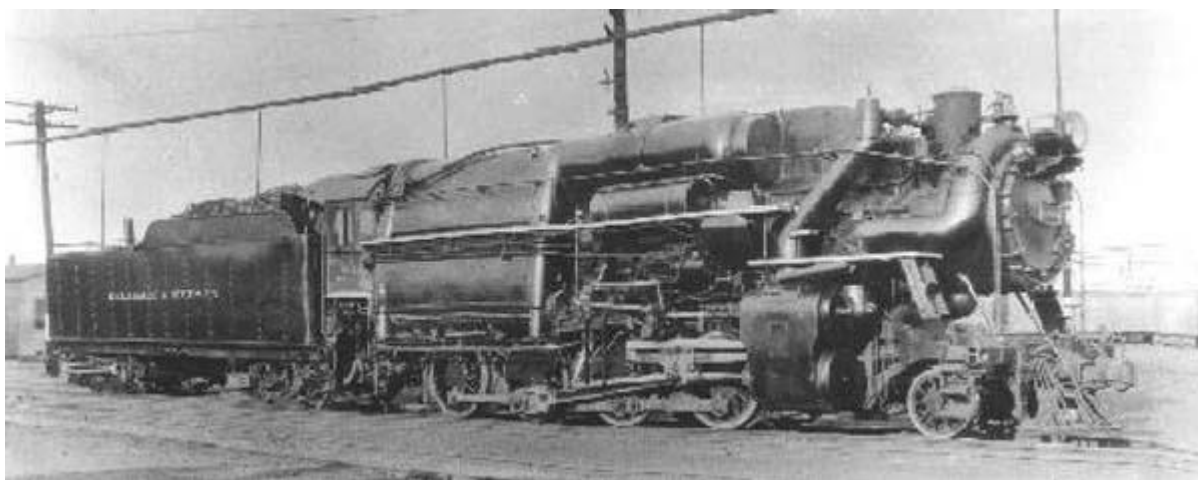
A 8000-es kanadai szupergőzös

American muscle – Az USA szupergőzősei

Ahogy az autóknál, a kamionoknál (és az éttermi ételadagoknál) úgy a szupergőzősök esetében is az USA-ban készültek a leghatalmasabb példányok. A szintén a 20-as, 30-as években kipróbált mozdonyok a világ legnagyobb teljesítményű, nem kettős gépezetű gőzősei közé tartoztak. Az előnyök és hátrányok legtöbbször megegyeztek a már bemutatott mozdonyokéval; jó hatásfok, nagy teljesítmény, viszont nagy tömeg, és drága fenntartás. A dízelmozdonyok, és a csuklós Mallet-gőzősök mellett a néhány különleges mozdony nem jelentett igazi alternatívát, így a II. világháború utánra hírmondó sem maradt belőlük.

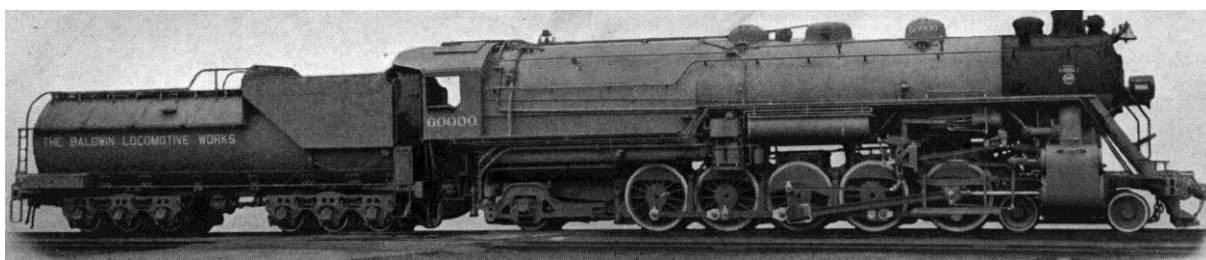
Az első amerikai példány a – később további három taggal bővült – Delaware & Hud-

son (D&H) vasúttársaságnál szolgáló szupergőzösök egyike volt, 1924-ben készült el a Baldwin-mozdonygyárban. A „Horatio Allen”-nek elnevezett mozdony a nagynyomású- és a hagyományos gőzösök közötti határvonalat jelentő 25 bar-os kazánnyomáson üzemelt, fűtőrendszere is csak egy vízkörös volt, viszont a tűzszekrényt 4 hatalmas, egymástól független gőzcsővel vették körül, ezek közül a két alsó csak a tűztér hosszáig, a két felső viszont a hosszakazán végéig nyúlt. Így érték el a 25 bar nyomást, amit a két darab, ún. keresztkompaund rendszerben üzemelő hengerbe tápláltak. A gőzhengerekből kilépő gőz energiájával ezután még a mozdony szerkocsijának hátsó, kéttengelyes forgóvázában elhelyezett gőzgépet is meghajtották, ami induláskor igen jó szolgálatot tett (a keresztkompaund hengerekről és a hajtott tengelyű szerkocsikról lásd a keretes írást). A nagy gőzcsövek, és a két henger közötti vastag gőzösszekötő miatt a „Horatio Allen” leginkább egy vasúti kerekkel felszerelt tankra hasonlított, 270 tonna feletti tömege pedig a legnagyobb négy hajtott tengelyű (tengelyelrendezése 2-8-0 volt) mozdonyrá tette, ami valaha is szolgált. A gép végétét már többször is említett, szupergőzösöket sújtó „átkok” jelentették, 1930-ban vonták ki a forgalomból.



D&H "Horatio Allen"

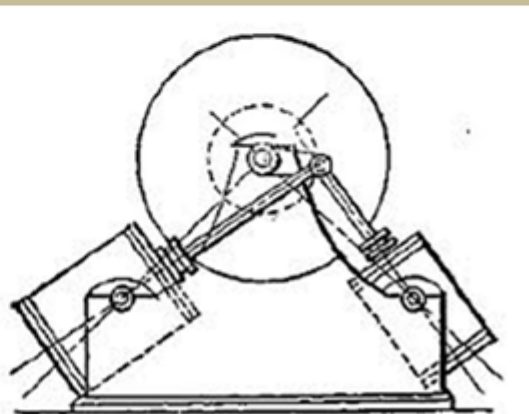
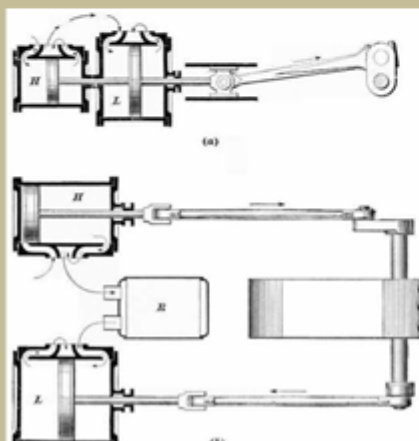
A következő, 1926-ban elkészült mozdony szintén a Baldwin-gyár műve (a 60 000. gőzmozdonyuk) volt. A még „Horatio Allen”-nél jóval nagyobb 1'E2' (2-10-4) tengelyelrendezésű gép háromhengeres volt, a „szokásos” 2 alacsony, és egy magasnyomású hengerrel, egykörös kazánjának gőznyomása 25 bar volt. A gép hattengelyes szerkocsija 50 ezer liter vizet és 16 tonna szenet volt képes elvinni (ez viszont nem volt hajtott), ezzel az össztömeg nem kevesebb, mint 340 tonnára rúgott!



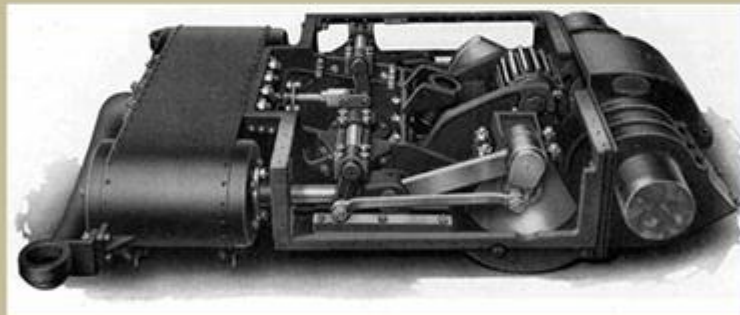
A Baldwin 60000-es

Kompaundálás és hajtott szerkocsik (booster-ek)

A gőzmozdonyoknál az ún. kompaundálás azt jelenti, hogy a mozdonynak kétféle, egy magas és egy alacsonynyomású hengere van (a vasút területén ritkábban, de a hajózásban egészen gyakran találkozhat(t)unk három- vagy négyféle különböző nyomású hengerrel is). Az alacsonynyomású hengert a magasnyomásúból kiáramló, még munkára fogható gőzzel táplálták, ezáltal a gőz energiája is jobban ki lett használva, azaz ugyanannyi gőzzel nagyobb teljesítményű mozdonyokat is lehetett működtetni. A kéthengeres kompaund gőzösöknél általában az egyik oldali a magas a másik alacsonynyomású, és a kettőt gőzcső köti össze. Az alacsony nyomású gőzhengerek – mivel ugyanakkora teljesítményt több gőzből kell előállítaniuk – általában nagyobbak, mint a magasnyomásúak. Kéthengeres elrendezésnél aszerint, hogy hogyan zajlik az ikergépezet gőzellátása, megkülönböztetünk kereszt- (a képeken balra lent), tandem- (balra fent), illetve V-kompaund (jobbra) rendszerű gőzgépeket. Az elsőnél az egyik hengerből kiáramló gőz a másik oldali hengerbe távozik, a másodiknál a két henger közös keresztfejet mozgat, a harmadiknál a belső égésű V-motorokhoz hasonlóan a hengerek szöget zárnak be egymással, miközben közös forgattyúcsapon vannak elhelyezve. Háromhengeres elrendezésnél leggyakrabban a mozdony középvonalában (a főkereten belül) elhelyezett magasnyomású hengerből látják el a két szélső alacsony nyomásút, így ez a kettő is azonos átmérőjű lehet, ami a súlyelosztásra és a forgótömegek kiegyenlítésére jó hatással van. Ritkábban előfordulnak két magas-, és egy alacsony nyomású, illetve háromszoros expanziójú gőzgépek is, amelyeknél egy magas, egy közepes és egy alacsonynyomású henger is található. A nagyteljesítményű négyhengeres mozdonyok (melyek általában már két darab kéthengeres gépcsoportú csuklós gőzösök, vagy szimpla gőzmozdonyoknál két henger a főkereten belül található) leggyakrabban egy pár nagynyomású hengerrel látnak el egy pár kisnyomásút, vagy néha egy magas, egy közepes és két kisnyomású gépegységgel dolgoznak. A mozdonyok körében fehér holló ritkaságú hathengeres gőzgépek (amelyek csak az igen hatalmas, hármass tagolású, ún. triplex gőzösöknél fordultak elő) egy pár magas és két pár alacsony nyomású hengercsoportot alkalmaznak, (tehát egyfajta dupla háromhengeres megoldásról van szó. A triplex gőzösökkel egyébként külön alfejezet foglalkozik majd).



Szintén érdekes technikai csemege a hajtott tengelyű szerkocsik, angolul booster-ek (gyorsítók) alkalmazása, amely a gőzmozdonyok történetének igen késői szakaszában jelent csak meg, kis számban, a nagyteljesítményű mozdonyokon. Ilyenkor a szerkocsi egyik (általában a hátsó) forgóvázában kisteljesítményű dugattyús gőzgépet helyeznek el, melyet vagy közvetlenül a kazánból nagy-, vagy a mozdony gőzhengereiből kiáramló kisnyomású gőzzel táplálnak. A hajtott szerkocsik indulásnál, főleg nagy tehervonatok esetében jelentenek segítséget, mert a sokszor 80-100 tonnás telerakott szerkocsinak igen jó a tapadási tömege, és a kis kerekek miatt nagy indítónyomatékot tud kifejteni. Az ilyen gőzgépek ellátása általában úgy van megoldva, hogy csak kicsi (20 km/h alatti) sebességnél működjenek, majd egy mechanizmus előlött elzárja a gőz útját. Ezeket a kiegészítő gőzgépeket egyébként néha nem a szerkocsin, hanem a gőzmozdony futótengelyein vetik be.



Egy szerkocsi kéttengelyes hajtott forgóváza (fent) és egy LNER 4-4-2 "Atlantic" gőzös, amelynek első futótengelyei segédgőzgéppel voltak ellátva



A nevet nem kapott, csak 60000-es számon emlegetett mozdony az egyik legerősebb nem-csuklós gép volt, teljesítménye elérte a 4500 lóerőt. A gép 1927-től mintegy 150 000 kilométeres tesztutakon vett részt Amerika szerte, szinte az összes fontos fővonalon megfordult. Megbízhatósága rossz volt, ehhez még hozzájöttek a már „megszokott” hátrányok, bár az igazság az, hogy a Baldwin 60000-est eleve a múzeumoknak építették. 1933-ban a philadelphiai Tudományos Múzeumba szállították, ma is ott tekinthető meg.

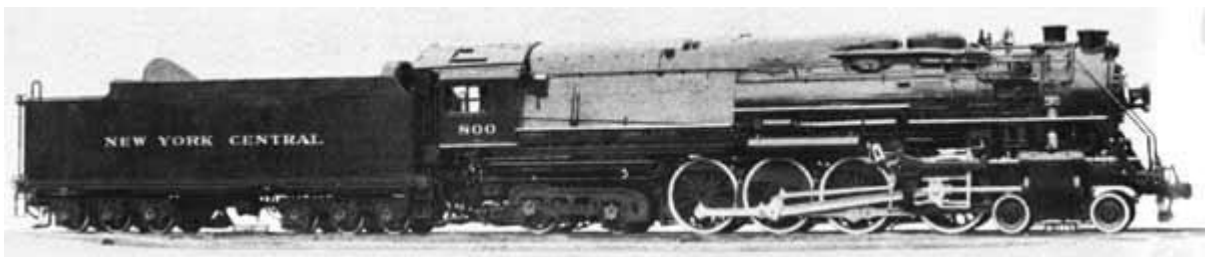
A négytagú D&H szupergőzösök következő tagja az 1927-ben elkészült 1'D (2-8-0) tengelyelrendezésű „John B. Jervis” volt. A mozdony gyakorlatilag a „Horatio Allen” továbbfejlesztése volt, tengelyelrendezése, kazánrendszere és a két hajtott tengelyű szerkocsi is megegyezett a korábbi gépével, de valamivel magasabb, 28 bar-os kazánnyomáson üzemelt, pályaszáma is eggyel nagyobb, 1401-es volt. 1930-ban egy még újabb, „James Archbald” névre keresztelt mozdony is megjelent, amely még magasabb, 35 bar-os kazánnal és na-

gyobb hajtott kerekkel épült, de a két mozdonyt pár év után selejtezték, amikor megérkezte az új 4-6-6-4-es Mallet-gőzösök, amelyek erősebbek, gyorsabbak, és könnyebben fenntarthatóak voltak.



A John B. Jervis

A D&H-n kívül az egyetlen társaság, amelyik ultranagy-nyomsású gőzöst közlekedtetett, a New York Central volt, amely 1931-ben vásárolt szintén a Baldwin-tól egy 4-8-4-es, háromhengeres, nagynyomású gépet. A 800-as pályaszámot kapott 210 tonnás mozdony magasnyomású hengereibe 60-, a két kisnyomásúba 17 baros gőz érkezett. Az egyedi gép - sajnos talán már nem meglepő módon – szintén kudarcnak bizonyult, ezért a hatalmas gőzmozdonyhoz teljesen méltatlan tolatószolgálathoz került néhány évre, majd 1939-ben selejtezték.



A New York Central szupergőzmozdony

Az Amerikában utoljára szolgált szupergőzös az 1933-ban épült 4-8-0 „L. F. Loree” volt (egyébként mind a négy gőzös elhunyt D&H vezérigazgatókról kapta a nevét). A mozdony nagyon ritka tripla expanziójú gőzgépet használt meghajtásnak, a hengerek elhelyezése is figyelemre méltó volt. A négy henger közül kettő a megszokott helyén, kettő viszont a vezetőállás alatt foglalt helyet. Az utóbbiak egyikét 37 bar-os nagynyomású gőzzel táplálták, ami aztán a másik oldalon levő közepes nyomású hengerbe került, majd a mozdony elején elhelyezett két kisnyomású hengerben harmadszor is expandált. A kazán ezen felül a mozdony öttengelyes szerkocsijának hátsó, háromtengelyes forgóvázába épített kiegészítő gőzgépet is ellátta magasnyomású gőzzel. A két pár mozdonyhenger a második tengelyt hajtotta

dupla csatlórudazaton keresztül, vezérlésük nem a megszokott kulisszás, hanem az inkább a belső égésű motorok szelepvezérlésére emlékeztető, vezérműtengelyekkel és szelepekkel működő mechanizmussal történt. A gép üzemkézsége katasztrofális volt, egyetlen tesztutat se tudott meghibásodás nélkül megtenni, ráadásul nagy, közel 300 tonnás tömege miatt csak a legnagyobb teherbírású vonalakon közlekedhetett. Néhány éves üzem után sajnos ugyanaz a sors várt rá, mint társaira.



A négyhengeres, háromszoros expanziójú "L. F. Loree"

A hatalmas nyomású szupergőzösök közül alig élte meg egy-kettő a II. világháború végét és kijelenthető, hogy a vasúti alkalmazásban nem váltak be. A nagy nyomás és az egyedi felépítés miatt túl nagy karbantartásigény a síneken nagyobb hátránynak bizonyult, mint a nagy teljesítmény és a jó hatásfok, de stabilgépként több, igen erős nagynyomású gőzgép is teljesített szolgálatot. A tankszerű mozdonyok egyben az utolsó nagyobb próbálkozások is voltak a gőzhajtás népszerűvé tételére, de ezeket a törekvéseket az 50-es években papírzacskóként söpörték el a modern dízel- és villanymozdonyok.

HÁRMAS TAGOLÁSÚ (TRIPLEX) GŐZMOZDONYOK

Előzmények

A XIX. század végén megjelenő kettős gépegységű, csuklós gőzmozdonyok megoldották azt a problémát, hogy a szimpla gépes mozdonyok erejét, tömegét és hosszát nem lehetett akármennyig növelni, mert egyrészt túl nagy lesz a tengelynyomásuk, illetve nem tudnak szűk íveket bevenni. Ezek a problémák négy hajtott tengely felett kezdtek jelentkezni, de öt kerékpárt még el lehetett helyezni csukló nélkül, ha a középső tengelyek kerekeit nyomkarima nélkül gyártották (így a kanyarban kismértékben letérhettek a sínkoronáról), vagy kicsi kerekeket alkalmaztak, mindkettő bevett gyakorlat volt. Készültek ugyan ennél több (hattal számos példány, de még héttel is!) merev hajtott tengellyel is gőzmozdonyok, de pont emiatt a probléma miatt nem terjedtek el. A csuklós gőzösöknél a hajtóegységet két gépcsoportra osztják, két csoport hajtott tengellyel, és általában a kettő egymáshoz képest el is tud fordulni (vannak kétgépes, de csukló nélküli gőzmozdonyok is, ezeket duplexnek nevezik. A világ leghosszabb merev lokomotívjai voltak.). A valaha szolgált legerősebb gőzösök – a 4-6-6-4 „Challenger” és a 4-8-8-4 „Big Boy” – kettős tagolásúak voltak, erejükkel még ma is veteked-

hetnek a legerősebb dízelmozdonyokéval, gyakorlatilag nem volt olyan vontatási feladat, amelyet ne lehetett volna két-három ilyen mozdony együttes alkalmazásával megoldani.



A világ két legnagyobb gőzőse, az Union Pacific "Big Boy" és "Challenger" csuklós Mallet-mozdonyok egy hatalmas tehervonattal a Wyoming állambeli hegyek között

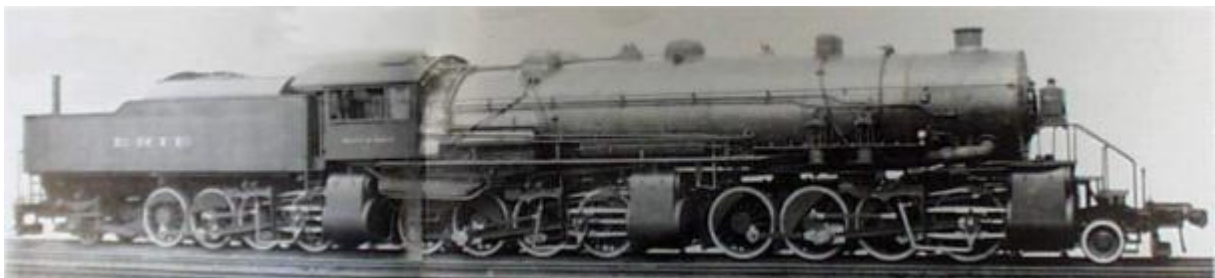
Három a gőzmozdony – a triplex gépek

A fentiek ellenére mégis készültek még ennél is komplexebb, ennél fogva rendkívül ritka – mindössze két típusban készült – hármas tagolású, azaz triplex-mozdonyok. Ezek a gépek nem egészen úgy néztek ki, ahogy számítanánk rá, mert a három csoport hajtott tengely közül az utolsó az egyébként szertartályos mozdonyok szén- és víztartályát támasztotta alá (a gőzhengerük éppen a vezetőállás alatt-, maga a tengelycsoport annál hátrább helyezkedett el). A gőzvontatás történetében egyedülálló hathengeres mozdonyok gőzellátását a világ legnagyobb kazánjai látták el, de ezekkel is csak alacsony, 15 bar körüli nyomást lehetett megtermelni. A három tengelycsoport közül a középső gőzhengereit látták el nagynyomású gőzzel, ezek közül a bal az első, a jobb a hátsó gépezetek hengerpárjait látta el nyomással, így a mozdony összes hengere ugyanakkora lehetett. A hatalmas fogyasztású gőzgépeket még egy ilyen nagy kazán sem tudta ellátni gőzzel sok ideig. A mozdonyok maximális teljesítményen emiatt csak néhány percre tudtak üzemelni. A triplex gépek bevetési területe hatalmas méreteik, fogyasztásuk, és kis sebességük miatt kizárólag olyan, nagyon meredek emelkedős szakaszokra korlátozódott, amelyeken más mozdony egyedül nem tudott felvontatni egy nehéz tehervonatot. Az emelkedő előtt a triplex-mozdony ráállt a vonat végére és

kis sebességgel feltolta azt a tetőre, majd visszagurult (általában ilyenkor nem kapcsolják rá a szerelvényre). A három gépcsoportú gőzösök további hátránya volt a szerkocsi alatti gépegység ellátása. A kéménytől való nagy távolság miatt egy második, a szerkocsi hátuljából kiálló kéményen keresztül szelelt, ami viszont nem vett részt a kazán huzatának javításában, amely annak rossz tüzeléstechnikai jellemzőihez vezetett (maximális teljesítményen a gőzfogyasztás fele a huzatképzésre ment el, ez igen nagy „pocsékolás”). Ennek ellenére a sok hajtott tengelynek köszönhetően a triplexek a világ valaha épült legnagyobb vonóerejű mozdonyai voltak. A probléma abból eredt, hogy nem volt olyan feladatkör, amelyet kizárólag egy ekkora géppel lehetett csak elvégezni, ráadásul a rossz kazánhatásfok miatt nem voltak alkalmasak más feladatra, ezért egyszerűbb volt több, kisebb, de másra is használható tologőzöst alkalmazni. Az I. világháború idején megépült mozdonyóriások éppen ezért csak néhány évig üzemeltek.

2-8-8-2 „Erie-triplex”

Az első hármas gőzmozdony a hatalmas, 390 tonnás, szertartályos Erie triplex volt (nevét onnan kapta, hogy az amerikai Erie vasúttársasághoz került), amely 1914-ben készült el a Baldwin-mozdonygyárban. Jóllehet, ennél nagyobb mozdony addig nem hagyta el a gyár kapuit, az Erie triplex a két megépült típus közül még így is a kisebb változat volt. A három darabban gyártott gépsorozatot egy meredek, 15 ezrelékes emelkedő leküzdésére rendelték, ezeken a kaptatókon a gép képes volt akár egy óriási, 650 (!!!) kocsis vonatot is felküzdeni (igaz, mindössze 5 km/h sebességgel)! A mozdony kazánja a méretekhez képest nem volt elég nagy teljesítményű, ezen a második és harmadik mozdony nagyobb tűzszekrényével próbáltak segíteni, de a problémát nem sikerült megoldani. Több mozdonyt nem rendelt a vasút, de az Erie-triplexek egészen 1927-ig dolgoztak.



Az első hármas tagolású gőzös, a 2-8-8-2 Erie Triplex

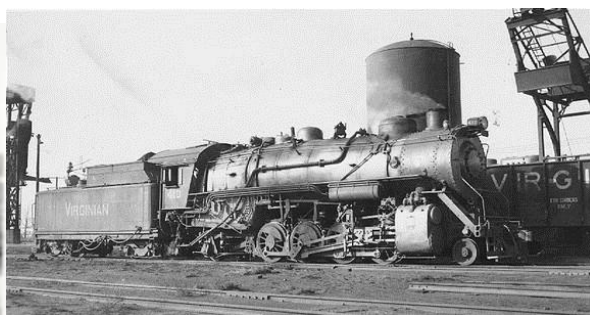
2-8-8-4 „Virginian triplex”

Az előző mozdohnál valamivel nagyobb, és eggyel több tengelyű volt az 1916-ban elkészült, és a Virginian vasúttársasághoz került triplex gép. Kazánja jóval nagyobb volt, gőznyomását egy kicsit megemelték, 16 bar-ra. A legutolsó futó-forgóváz itt tehát kéttengelyes volt, amire azért volt szükség, hogy amikor a gép hátrafelé gurult le az emelkedőn, könnyebben álljon be az ívekbe. A gőzös kazánja szintén nem tudott elég gőzt szolgáltatni, így a mozdony maximális sebessége mindössze 8 km/h volt! Elég nagy problémát jelentett, hogy a pont a vezetőállás ablaka alatt található harmadik gőzhengerből kiszökő gőz zavarta a mozdony személyzetet. Ez a gőzhengerpár egyébként szintén a szertartály hátuljában kialakított kéményen keresztül szabadult meg a fáradt gőztől, de előtte a gőzcső keresztülhaladt a tápvíz-tartályon, előmelegítve a vizet. A mozdonyt – sok problémája miatt – 1920-ban két gőzös-

sé építették át, egy 2-8-8-0-s tengelyelrendezésű csuklós, és egy 2-8-2-es merev lokomotív-vá. Ezeket nagy sikerrel használta tovább a vasúttársaság, és csak 1953-ban selejtezte őket. A Virginian triplex tömege közel 400 tonna volt feltankolva, azaz nem volt nehezebb az 520 tonnás Union Pacific „Big Boy”-oknál, de a leghatalmasabb gőzmozdonyok közé tartozik így is.

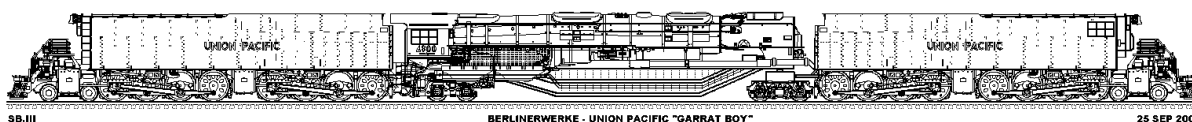


Fent: a még nagyobb 2-8-8-4 Virginian Triplex mozdony. Lent: a 2-8-8-0-s csuklós (balra) és a 2-8-0-s szimpla gőzmozdony, amelyeket 1920-ban az óriási gőzös „feldarabolásával” építettek meg



További vad ötletek

Noha a hármas gőzmozdonyokról is kiderült, hogy túl nagyok a vasúti pályákra, a tervezők fantáziája nem állt meg három gőzgépnél. 1927-ben tervezték, hogy elkészítik az ún. Garratt-rendszerű (egy kazán közepén és két külön gőzgép a mozdony két végén, forgóváz-szerűen a főkerethez csatolva) kettős gőzmozdonyok, négygépes, ún. quadruplex változtatát, de ez természetesen soha nem valósult meg. A tervekben „Super-Garratt” néven emlegetett, 2-6-6-2+2-6-6-2 tengelyelrendezésű, 12 hajtott tengelyes gépek valahogy így néztek volna ki:



A négy gépcsoportú "quadruplex" gőzmozdony terve

Ha esetleg ez nem lett volna elég, Belgiumban elkészült egy még ennél is elvetemültebb terv. Noha gyártása szóba sem került soha, egy belga tervezőiroda tényleg elkészítette az egy „Big Boy”-ból és két Garratt-típusú további gőzgépből „szíami ikresített” hat (!!!) gépes, azaz hexaplex mozdony tervét. A leginkább egy örült elképzelésnek tekinthető mozdonyszörnyeteg tengelyelrendezése – még leírni is hosszú – 4-8-8-0+4-8-8-4+0-8-8-4 lett volna!



A "Big Boy"-ból "képzett" hihetetlen, 6 (!!!) gőzgépes, azaz "hexaplex" mozdonyterv

Noha sikeresnek nem bizonyultak, a triplex gépek – ha másra nem is – arra jók voltak, hogy megmutassák, hol vannak a mozdonytervezés határai, mi az, amelytől kezdve érdeme-sebb két mozdonyban gondolkozni. A gazdaságilag értelmetlen mozdonyok a technikátörté-netnek ezen felül egy érdekes fejezetét is jelentették.

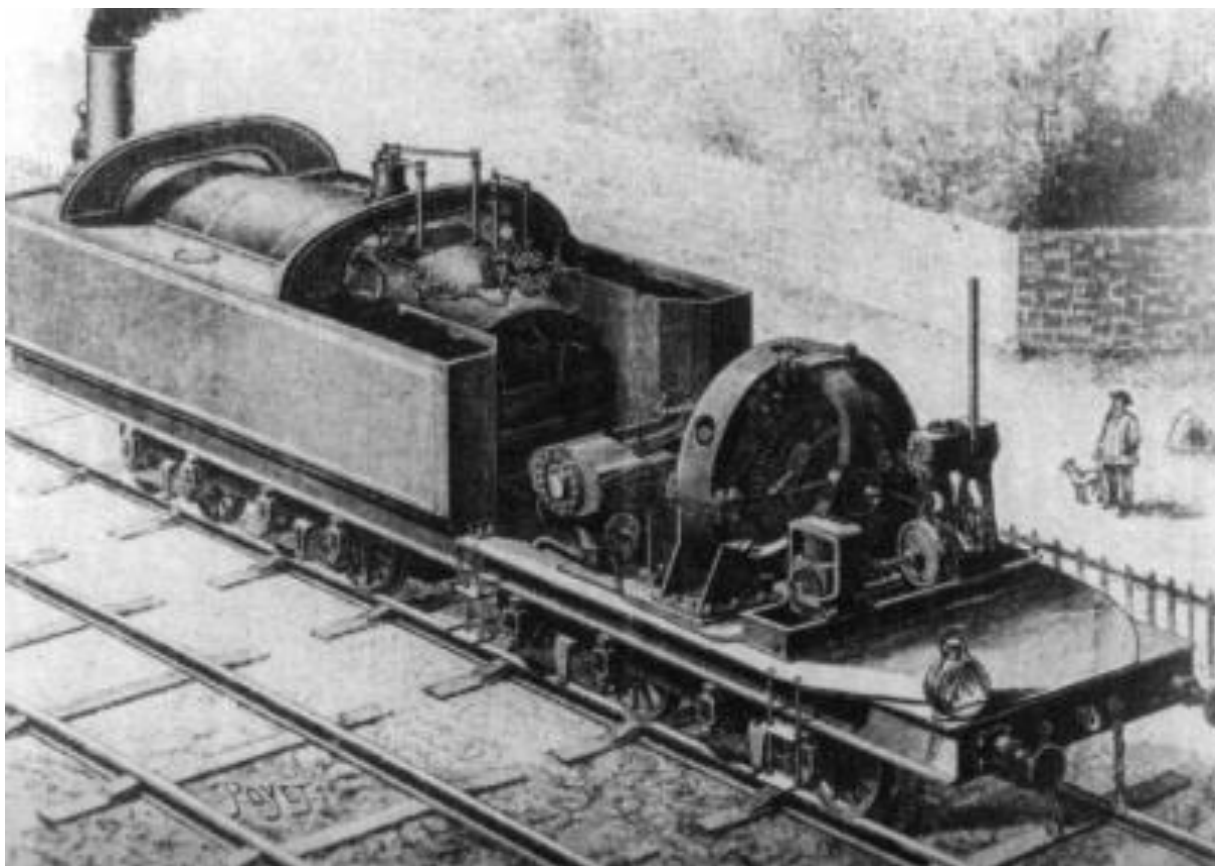
EGYÉB KÜLÖNLEGES GŐZMOZDONYOK, ŐRÜLT ÖTLETEK

Az idáig bemutatott, szintén ritkaságszámba menő gőzmozdonyok azért megegyeztek abban, hogy valamennyire alkalmasak voltak a normál menetrendi üzemre, vagy legalábbis az elképzelések, amelyek mentén megszülettek, valós, és racionális igényeken alapultak. Néhány itt bemutatott tervről ez már nem mondható el, viszont elnézve őket elmondható, hogy a megszállott tervezőmérnökök tényleg nem riadta vissza semmitől egy-egy őrült terv megvalósításának érdekében. Lesznek viszont olyan mozdonyok is, amelyek végül is jó ötlet-nek bizonyultak – elméletben; a gyakorlati kivitelezés már nem hozta a várt eredményeket. A fejezet talán legszórakoztatóbb szakasza következik, kiváltképp azoknak, akiket a vasúti jár-művek közül a gőzmozdonyok érdekelnek a legjobban!

A Heilmann-féle gőz-elektromos mozdony – Fusée électrique

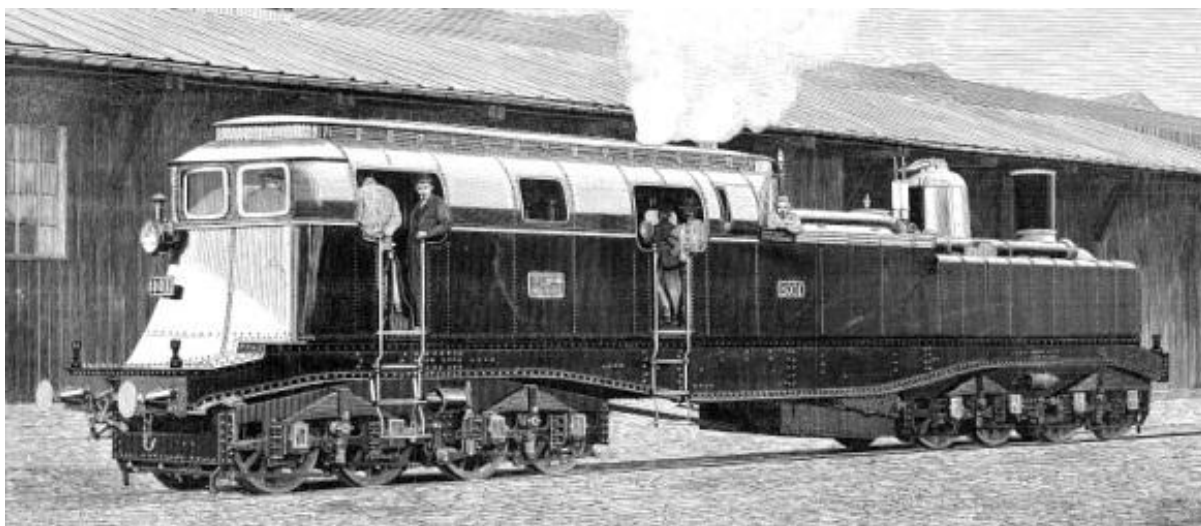
A generátorok XIX. századi felfedezése új lökést adott a technikátörténelemnek. Ma-napság a vasút területén is igen nagy számban alkalmazzák őket a dízel-elektromos mozdo-nyokban, de – ahogy azt ebben az írásban részleteztük – generátorok termelték az áramot a hatalmas gázturbina-, és gőzturbina-elektromos mozdonyok számára is, sőt manapság min-den vonat áramellátását generátorokkal oldják meg. A gőz- és gázturbinás gépek már elég ritkaságszámba mentek, de közel sem voltak annyira ismeretlenek, mint az itt bemutatandó gőz-elektromos mozdonyok. Az ilyen gépek ugyanúgy működnek, mint ahogy azt a turbóelektromos mozdonyoknál már bemutattuk. Egy gőzgép (ott gőzturbina, jelen esetben dugattyús) gyakorlatilag állandó fordulatszámon meghajt egy generátort, az áramot fejleszt, amit a tengelyeknél elhelyezett elektromos vontatómotorok táplálására használnak. A meg-oldás lényege, hogy a gőzgép fordulatszámát a számára legkedvezőbb tartományban tarthat-juk, illetve – az itt sürgősen csatlórudazat miatt – nem kell a gőzmozdonyokat sújtó „Hammer blow” jelenséggel sem számolni, ami sokkal nyugodtabb futást eredményez. Az első gőz-elektromos mozdonyt Jean-Jacques Heilmann, egy elzászi pamutgyáros építette meg 1892-ben. A feltaláló eredetileg egy gőzmotorvonatot képzelt el – ezzel is évtizedekkel megelőzve korát – amelynek vontatójában egy háromszoros expanziójú gőzgép termeli meg az egyenáramú generátor forgatásához szükséges energiát. A vonathoz ezen felül három hajtott mellékkocsit is elképzelt, amelyeket a generátor által előállított árammal táplálnak meg. Ez az álom nem valósult meg, viszont az első gőz-elektromos mozdony a „Fusée électrique” (Elektromos rakéta) már igen! A két négytengelyes forgóvázsal rendelkező, nyolc vontatómotorral rendelkező gőzös egy kéthengeres 800 lóerős kompaund gőzgéppel hajtot-ta magát, a motorok teljesítménye egyenként 80 lóerő volt. A gőzhengerek nem párhuzamo-

san helyezkedtek el a pályával, mint a normális gőzmozdonyoknál, hanem keresztben, és egy közös forgattyústengelyt hajtottak, a mai boxermotoros autókhoz hasonló módon. A Heilmann-elektrogőzös az első, 1893-ban tartott futáspróbán 107 km/h-s sebességet ért el. Ugyan a szakemberek meg voltak elégedve a furcsa gép eredményeivel, a sorozatgyártásból – annak ellenére, hogy két újabb példány építésére is érkezett megrendelés – nem lett semmi. A „Fusée électrique”-et 1897-ben szétszerelték, négytengelyes forgóvázait és vontatómotorjait két korai villanymozdony használta tovább. A mozdony kinézetéről ezért már csak néhány fénykép, és egy 1903-ban készült modell tanúsodik.



A Fusée électrique

Heilmann következő gépeit már nem odahaza, hanem Angliában építtette meg, ezek jóval fejlettebbek voltak a „Fusée électrique”-nél. Az 1897-ben elkészült CF de l'Ouest 8001-es névre keresztelt elektrogőzmozdonyok már inkább egy korai dízelre emlékeztettek, leszámítva persze hangjukat és kéményüket, de a gépészeti elrendezésben inkább álltak közelebb a későbbi dízel-elektromos és gázturbina-elektromos mozdonyokhoz, mint egy akkori gőzmozdonyhoz. A viszonylag nehéz, 124 tonnás, szintén nyolctengelyes mozdony kazánnyomása 14 bar volt. 1897 novemberében a franciaországi Saint-Lazare-ban ezt a példányt is futópróbának vetették alá (a terhelése mindössze 50 tonna volt), melynek során 100 km/h-s sebességet ért el. A gépből aztán nem részletezett okok miatt (és annak ellenére, hogy több ország is jelezte érdeklődését a gőz-elektromos mozdonyokra) nem készült több, valószínűleg ezt is szétszerelték. A CF de l'Ouest-et egyébként a modern, vontatómotoros villanymozdonyok és dízelek ősének tekintik.

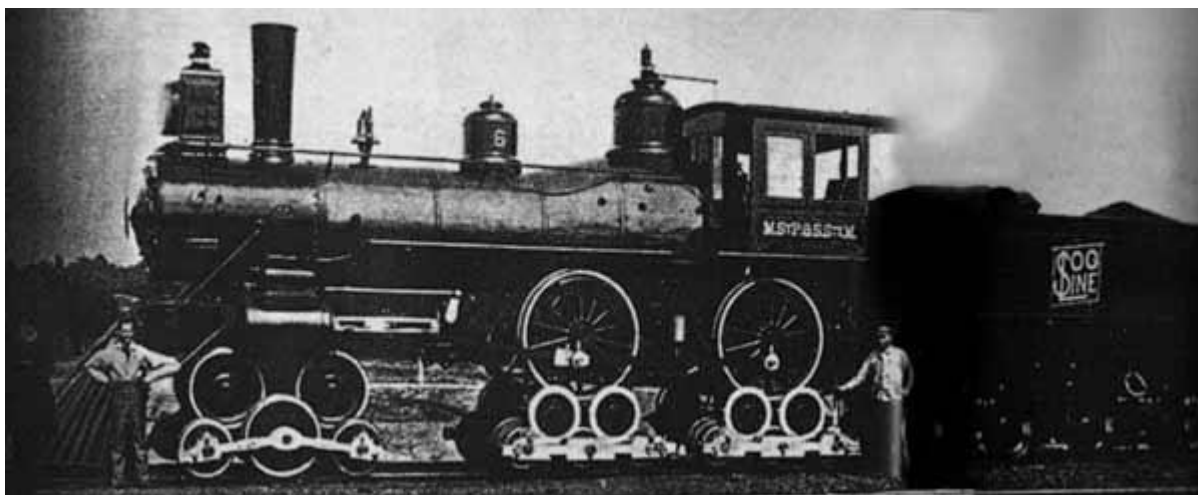


Heilmann másik gőz-elektromos mozdonya

A Holmann-lokomotív

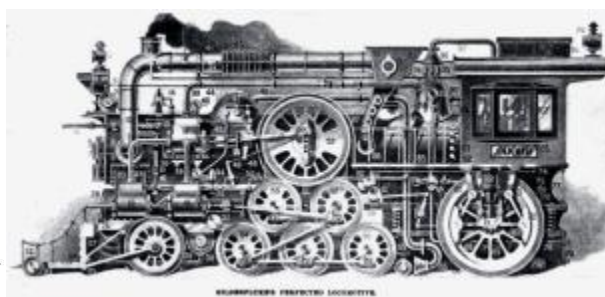
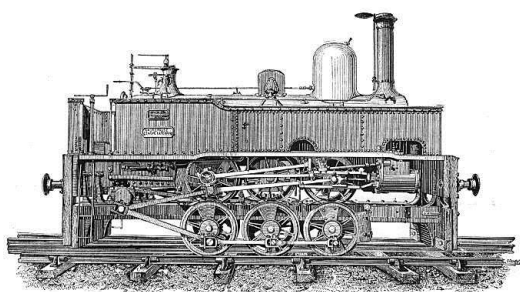
Míg a Heilmann-féle mozdonyról azért tudni lehetett, hogy tervezője ésszerű érvek mentén haladt megalkotásakor, a most bemutatott Holmann-lokomotívnál már eléggé meg kell erőltetnünk magunkat ahhoz, hogy megértsük, mi is állt emögött az „elképzelés” mögött. Ésszerű érvek alapján nem is fogjuk kitalálni, de ha ismerjük a mozdony történetét, akkor mindjárt megértjük. 1887-ben a Holmann Locomotive Company előállt egy olyan mozdonytervvel, amelyet sokáig nem tudtak hova tenni azok akik meglátták. A mozdony egy szabványos, 4-4-0-s tengelyelrendezésű Baldwin gyártmányú gőzös volt, de az egész gépet egy furcsa kicsi kerekekből álló „második futóműre” helyezték! A két első futótengely egy háromtengelyes „forgóváz” tengelyei közötti részbe illett bele oly módon, hogy a mozdony kerekei súrlódó kapcsolatban voltak a síneken levő második futómű kerekeivel (így, amikor a mozdony előre haladt, a futókerekek hátrafelé forogtak!). A két hajtott tengely esetében még ennél is bonyolultabban volt megoldva, mert ott – pont emiatt – nem lehetett egyből a második futóműre helyezni őket, mert akkor, ha a mozdony gőzhengereit előremenetben hajtják, a mozdony hátrafelé indult volna el. Emiatt a két hajtott tengelyre illeszkedő új futómű „kétemeletes” volt, a mozdony nagy kerekei egy kéttengelyes forgóvázal találkoztak (ezek hátrafelé forogtak), a kis kerekek pedig egy harmadik csoport, még kisebb kerekekből álló futóműnek adták tovább a nyomatékot! Az elgondolás már csak azért is hamvába holt volt, mert a legalsó kicsi-, és a legfelső nagy kerekek között akkora volt az áttétel, hogy a mozdony maximális sebessége gyakorlatilag egy gyalogoséra esett vissza. Ami nem is baj, mert az „új futómű” által igen magasra került súlypont miatt nem is lehetett volna száguldozni a géppel, ráadásul a rengeteg fém-a-fémén súrlódó felület miatt szörnyű lett a mozdony tapadási tömege, arról nem is beszélve, hogy így fékezni is lehetetlen volt. A Holmann-mozdony egyébként egy rövid, párszáz méteres utat tett meg „görkorcsolyáin”, amely során az előbb felsorolt hátrányok egyből világossá is váltak. Sokan kizártnak tartották, hogy kanyarodni tudjon, ráadásul egy nagyobb vonat megindítása lehetetlen lett volna (főleg, hogy a kapcsolószerkezetek sem passzoltak már így egymáshoz). A szaklapok évtizedekig hüledeztek

a lehetetlen, mindenféle magyarázkodás nélkül bemutatott mozdonyon, amíg ki nem derült a tervezet valódi oka. A mozdonygyár hatalmas támogatásra tett szert egy befektetői csoporttól egy állítólagos „új modern megoldásra”, amely a gőzmozdonyok jövőjét jelentette volna, legalábbis a gyártó szerint. A gyár felvette az összeget, de a beígért nagy újításból már csak erre futotta. A nagy átverés a kreatív könyvelés miatt egyébként nem is derült ki, és valószínűleg a hiszékeny befektetőkön kívül mindenki nagyon jól szórakozott a „görkorcso-lyázó” mozdonyon.



A „Holmann-Horror”

Az ilyen típusú „segédkerekek” egyébként a vasút korai időszakában – amikor még nem alakultak ki az egységes nyomtávrendszerek, ezért sokszor egy országon, vagy akár tartományon belül is vonatot kellett váltani – nem voltak teljesen szokatlanok, de a Holmann-féle elképzeléshez hasonló hátrányokkal ezek is küzdöttek. Az elgondolás úgy működött, hogy a mozdonyt egy olyan „keretbe” helyezték, amely a kívánt nyomtávon képes volt haladni, a gép pedig ennek az új futóműnek a kerekeit hajtotta meg. A sebességek emelkedésével, és persze a nyomtávrendszerek egységesülésével ezek a „nyomtáv váltó” keretek eltűntek, és senkinek sem hiányoztak többé.

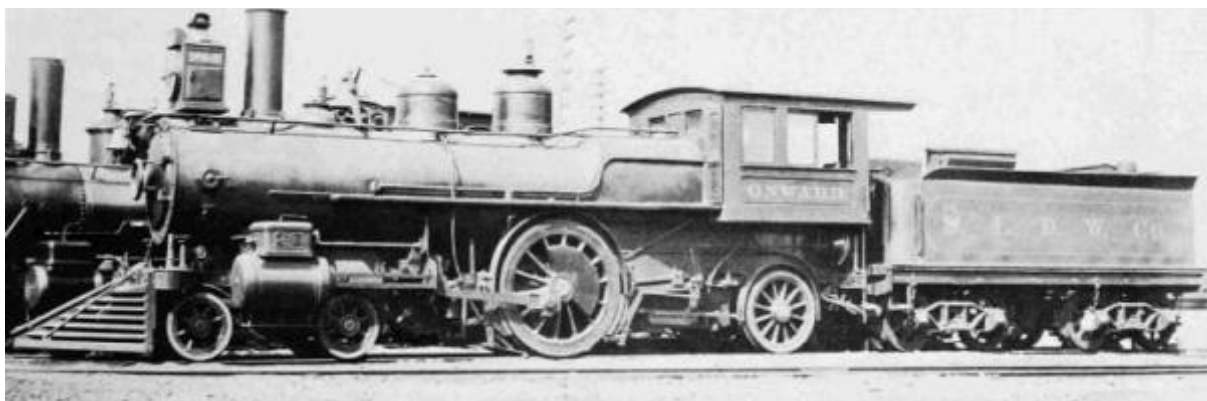


Balra: A Lafferrer-féle nyomtáv váltós mozdony 1850-ből, és Gilderfluke furcsa elképzelése (csak egy karácsonyi vicc) 1931-ből

Készültek még ezen kívül tervek a „nemcsak a síneken guruló” kerekekkel működő mozdonyokról, de ezek vagy mindössze vad álmodozások voltak, vagy nem is gondolták őket komolyan.

Az „Onward” szögletes kerekű mozdony

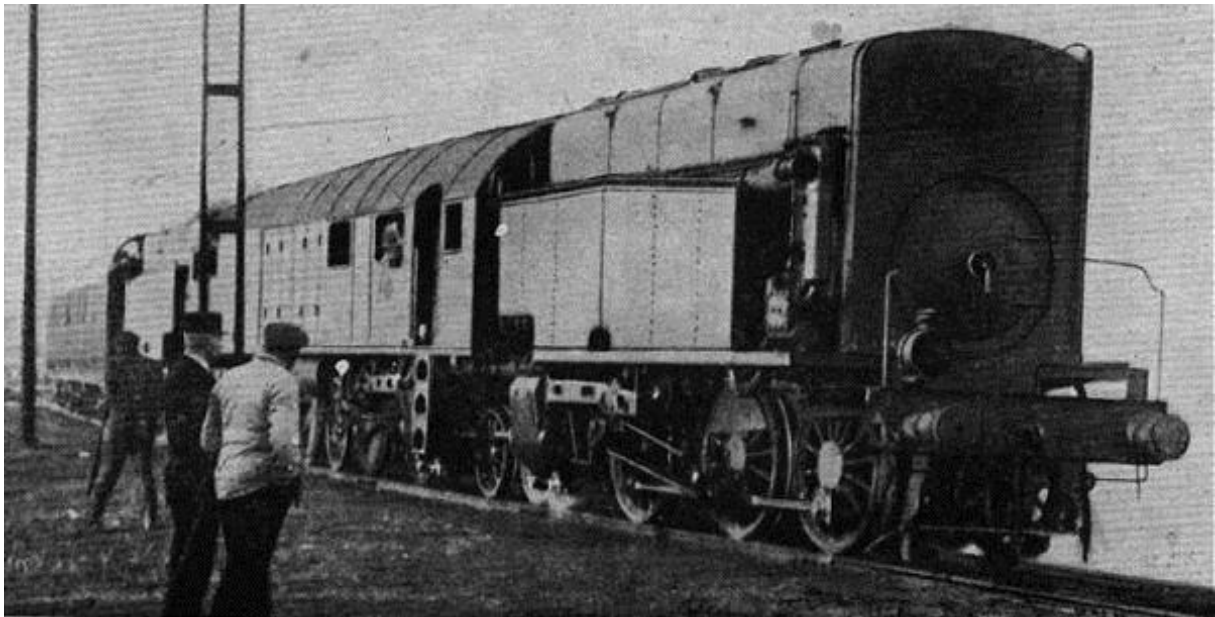
Szintén 1887-ből származik, és szintén nagyon furcsa volt a Swinterton amerikai mozdony gyár „Onward” elnevezésű, 4-2-2 (2A1) tengelyelrendezésű, elsőre teljesen hagyományosnak tűnő gőzöse, amely felrúgta a vasútgyártásban akkor már 80-, a kerekek történetében pedig több ezer éve fennálló szabályokat, miszerint a kerék a kör alakú. Bár a mellékelt képen nem látszik, de a közel 2 méter átmérőjű hajtott kerekek nem kör, hanem 118-szög alakúak voltak! A sokszög minden oldala 2 hüvelyk (5,1 cm) hosszú volt, és tervezője szerint ezzel megelőzhetőek lehettek volna a mozdonyok indulását kísérő, nagyon látványos, de mind a pályára, mind a mozdonyra nézve eléggé káros kerékkipördülések, illetve a nagyobb érintkező felület miatt a mozdonyok sínekre gyakorolt nyomása is kisebb lehetett volna. A furcsa elvek szerint készült mozdony több próbautat is tett szögletes kerekeivel, amelyekkel pontosan úgy haladt, ahogy az ember egy szögletes kerekű mozdonytól „elvárja”. A vizionált előnyöket nem tudta produkálni, viszont nagyon rázkódott, és minden fékezésnél gyakorlatilag ledarálta a fékpofákat, illetve a pályát is. A sokszög alakú kerekeknek megvolt az a hátránya is – bár ez már végképp nem számított a végeredményt tekintve – hogy egyetlen akkori mozdonygyár sem tudott – és valószínűleg nem is lett volna hajlandó – készíteni. A gőzöst még abban az évben normál kerekekkel szerelték fel, és hagyományos mozdonyként 1905-ben került selejtezésre. A sokszög alakú kerekekkel soha többet nem foglalkoztak a mérnökök, ezért valószínűleg az „Onward” az egyetlen vasúti jármű, amely – szándékosan – szögletes kerekekkel épült.



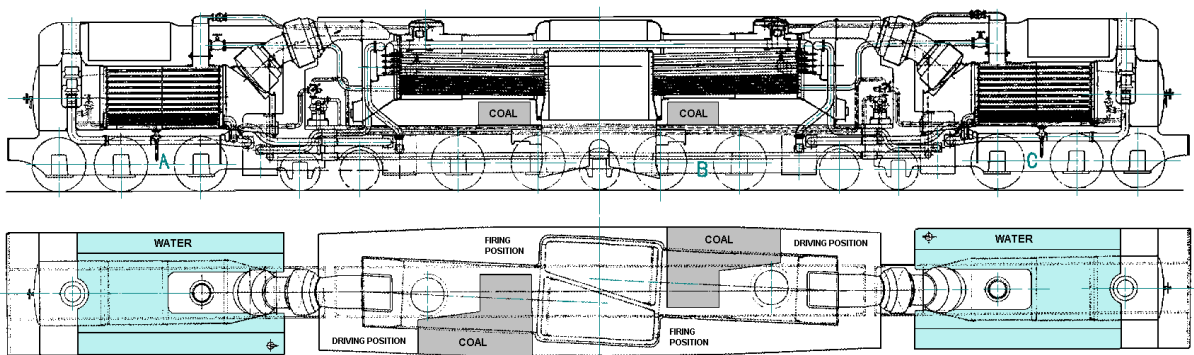
A szögletes kerekű "Onward"

A végszó

Láthatjuk tehát, hogyha furcsa megoldásokról volt szó, néhány mérnöknek nem kellett a szomszédba mennie. A nem mindennapi lokomotívok – amellet persze, hogy érdekes technikai csemegék, és nem egyszer derűtséget okoztak az érdeklődőknek – arra jók voltak, hogy megmutassák, hol az ésszerűség hatása, csúnyábban szólva milyenre nem szabad építeni egy mozdonyt. Búcsúzóul, íme, néhány fotó a „legelvetemültebb” alkotásokról!



A Franco-féle kétkazános mozdony a 1935-ből. A gőzönek két vezetőállása is volt, a fűtést két darab gépi tüzelő látta el. A gép tengelyelrendezése nagyon furcsa: 0-6-2 + 2-4-2-4-2 + 2-6-0, azaz 10 hajtott tengellyel rendelkezett. A rossz tapadási tömeg – és persze a furcsa koncepció – miatt ez maradt az egyetlen ilyen gőzmozdony



Balra: A lisszaboni városi vasút három nyomon haladó gőzöse (csak a középső kerék volt megvezetve). A furcsa megoldás miatt tengelyelrendezése Whyte-rendszer szerint 1-2-1 lett volna. Jobbra: A "Pyramide-hajtású" gőzös

Felhasznált képek és források

<http://www.ebay.com/itm/CB-Q-RR-Aeolus-and-Twin-City-Zephyr-8x10-photo-/400319736104>

http://locomotive.wikia.com/wiki/EMD_F_Series

<http://www.aqpl43.dsl.pipex.com/MUSEUM/LOCOLOCO/241cct.gif>

<http://www.bphs.net/EarlyHistory/EarlyInventions/index.htm>

<http://www.bphs.net/EarlyHistory/EarlyInventions/index.htm>

http://nzetc.victoria.ac.nz/tm/scholarly/Gov05_01Rail-fig-Gov05_01Rail018a.html

<http://www.douglas-self.com/MUSEUM/LOCOLOCO/canadaHP/canadaHP.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/Uniflow_steam_engine

<http://www.smokstak.com/forum/showthread.php?t=31555>

<http://blog.opensourceecology.org/2010/08/steam-engine-prototype-1-design/>

<http://www.lner.info/article/tech/compound/boosters.shtml>

<http://www.lner.info/locos/C/c1.shtml>

<http://www.ntrack.nl/images-eng.html>

<http://www.steamlocomotive.com/mikado/?page=virginian>

[http://www.trainboard.com/grapevine/showthread.php?66310-Articulated-Locomotives-\(HO-Virginian-2-8-8-2\)/page7](http://www.trainboard.com/grapevine/showthread.php?66310-Articulated-Locomotives-(HO-Virginian-2-8-8-2)/page7)

<http://www.douglas-self.com/MUSEUM/LOCOLOCO/heilmann/heilmann.htm>

Az előlapon látható képek forrásai:

<http://ptatransitauthority.blogspot.hu>

<http://www.gkweb.net>

<http://flickrhivemind.net>

<http://greyfalcon.us>

<http://www.ecofriend.com>

<http://www.fanboy.com>

<http://technabob.com>

<http://www.nscorp.com>

<http://www.rotorburn.com>

Tartalomjegyzék

ELŐSZÓ ÉS KEDVCSINÁLÓ	3
Kedvcsináló.....	3
BEVEZETÉS: HAGYOMÁNYOS MOZDONYMEGHAJTÁSOK	10
Bevezetés.....	11
A gőzmozdonyok.....	12
A dízelmozdonyok	15
A villanymozdonyok	19
Felhasznált források és képek.....	23
GŐZTURBINÁS MOZDONYOK	24
A GŐZTURBINÁK	25
Bevezető: Valóban lejárt a gőzgépek ideje?	25
A gőzturbinák működése	25
Fel nem ismert találmány – a gőzturbinák története.....	26
GŐZTURBINÁK A VASÚTON.....	29
A gőzturbinák előnyei.....	29
A hátrányok	30
Kerekcsőhőerőművek – a gőzturbinás mozdonyok altípusai	31
FOGASKEREKES HAJTÓMŰVŰ GŐZTURBINÁS MOZDONYOK	31
Svájc mozdonyai.....	31
A gőzturbinások története Svédországban.....	32
Rövid, dicstelen karrier Olaszországban.....	33
Birodalmi gőzturbinások - Németország	35
Viszonylagos siker: Anglia.....	37
USA – legnagyobb, leghosszabb, legerősebb	41
Franciaország – A háború közbeszól	42
Gőzturbinások Dél-Amerikában.....	43
TURBÓELEKTROMOS MOZDONYOK	44
Anglia: sikertelen kísérletek.....	44
A Union Pacific turbóelektromos gépei:.....	46
Fél év szolgálat - A „Szent Tehén”: C&O M1.....	47

Az utolsó mohikán: N&W „Jawn Henry”	48
A gőzturbinások alkonya, a kor értéklése.....	49
Felhasznált képek és irodalom.....	50
GÁZTURBINÁS MOZDONYOK ÉS MOTORKOCSIK	51
A GÁZTURBINÁK.....	52
Bevezető.....	52
A gázturbinák működése	52
A gázturbinák története	56
A GÁZTURBINÁK VASÚTI ALKALMAZÁSÁNAK TÖRTÉNETE.....	59
Vasúti gázturbina meghajtások:.....	59
A gázturbinák „mérlege” a vasúti vontatásban:	59
GÁZTURBINÁS MOZDONYOK	60
A svájci Am4/6 gázturbina-elektromos mozdony	60
A sikersztori: A Union Pacific gázturbinások.....	62
Egy érdekes oldalhajtás: UP szénportüzelésű gázturbinás mozdony.....	69
Gázturbinások a Szovjetunióban.....	70
Brit gázturbinások – BR-18000 „Kerosene castle”	70
BR-18100, a „nagy testvér”	72
Oroszország gázturbinás mozdonyai – egy új korszak kezdete	72
A mechanikus meghajtású BR GT3 – Egy gőzmozdony újjászületése	73
GÁZTURBINÁS MOTORVONATOK	75
Döngetett, Mylord? - a gázturbinás APT-vonat	75
A francia TurboTrain-ek: 40 év siker	76
Észak-amerikai gázturbinások: Kanada	79
USA.....	80
Francia bevándorlók – a TurboTrain-ek amerikai változatai: A Turboliner-ek	80
Bombardier JetTrain – A modern gázturbinás vasúti jármű.....	81
GÁZGENERÁTOROS TURBINÁVAL MEGHAJTOTT VASÚTI JÁRMŰVEK	83
Csehszlovákia	83
Hazai gázturbinások: Magyar Narancs	84
Egyéb tervek:	86
SUGÁRHAJTÁSÚ VONATOK	87
Hogy merült fel?	87

New York Central „Black Beetle”	88
SVL szovjet sugárhajtású motorkocsi	89
A gázturbinás vasúti hajtás értékelése	90
Felhasznált képek, irodalom	90
VASÚT ÉS TÖRTÉNELEM	92
A MUMUSOK: Az 1973-as és az 1979-es olajválság	92
A válság előzményei	92
Az 1973-as olajválság	93
A második olajkrízis	94
Az események hatása a közlekedésre	94
A válságok értékelése technikatörténeti szemszögből	97
Felhasznált források, képek	97
MAGLEV-VONATOK	99
Bevezetés – egy új kor hajnala	100
A LINEÁRIS VILLANYMOTOROK	100
A lineáris motorok fajtái	101
A lineáris hajtás története:	104
Vasúti lineáris meghajtás típusok – mitől „repül” a vonat?	105
MAGLEV VONATOK NAPJAINKIG ÉS A JÖVŐBEN	107
Az első komoly próbálkozás: Eric Laithwaite és a Tracked Hovercraft	107
A „mágneses folyó”	109
Az első maglev: a MAGLEV	110
A berlini M-Bahn – A történelem áldozata	111
A modern maglevvek megtestesítője – A Transrapid	114
32 km 7 és fél perc alatt – A sanghaji Transrapid-vonal	117
Nem eszik olyan forrón – füstbement Transrapid-tervek	119
A Transrapid-ok kihívói: A japán JR Maglev projekt kocsijai:	120
Bátor tervek: a Yamanashi tesztpálya és a majdani Chuo Shinkansen:	122
Városi mágnesvasutak, mágneses metrók	125
Kísérleti maglev-vasutak	127
Tervek, tervek, tervek	128
Mit hoz a jövő?	129
Felhasznált képek és források	132

VÁKUUMCSÖVES VASUTAK.....	133
Miről is van szó?.....	134
A vákuumcsövek kezdetei – a légnyomás felfedezése.....	134
A magdeburg-i féltekék története	135
Hogyan működik a vákuumcső?	136
Viktoriánus gyorsposta – A pneumatikus csomagküldő-rendszerek elterjedése	137
VÁKUUMCSÖVES VASUTAK.....	138
Korai pneucsőves vasút tervek, elképzelések.....	138
Miért előnyös?	140
Miért nem előnyös?	140
Az első: Dalkey Atmospheric Railway.....	140
A London & Croydon vákuumcsöves vasút	141
Isambard Kingdom Brunel vákuumcsöves vasútja.....	143
A Crystal Palace Atmospheric Railway	144
Vasút a Broadway alatt – Beach Pneumatic Railway	145
London vákuumcsöves postavasútjai	147
A klasszikus vákuumcsöves vasutak alkonya	149
A hajtás mai képviselői	150
VÁKUUMALAGUTAS VONATOK (VACTRAIN)	151
A Vactrain működése	151
A Transzatlanti vasúti alagút.....	151
Egy másik terv	153
A jövő autói – az ETT	154
VÁKUUMCSÖVEK AZ ÚRBE – KÖTÖTTPÁLYÁS MAGLEV ÚRJÁRMŰVEK.....	155
A StarTram	155
Felhasznált képek és források:.....	158
LÉGCSAVAROS VASÚTI JÁRMŰVEK	160
Bevezetés.....	161
A légcsavar.....	161
„Fordítva” működő légcsavarok: szélturbinák.....	165
LÉGCSAVAROS VASÚTI JÁRMŰVEK	166
A szovjet Aerowagon: az első légcsavaros „motorkocsi”	166
A „Bennie Railplane” – szűk 100 méternyi ábránd	167

Német „siker”: A Schnienenzeppelin	167
Felhasznált képek és források.....	170
LÉGPÁRNÁS VASÚTI JÁRMŰVEK.....	171
Bevezetés.....	172
A légpárnák működése, típusok.....	172
A légpárnák előnyei... ..	172
...és hátrányai.....	172
A légpárnás járművek felépítése.....	173
A légpárnás járművek története	174
LÉGPÁRNÁS VONATOK.....	178
A légpárnás vasutak története.....	178
Az előzmények: a „hunting oscillation” jelenség	178
A Tracked Hovercraft: maglev és légpárnás vonat egyben	179
A jövő hírnökei: a francia Aerotrain-ek	180
Az Aerotrain-licenz alapján gyártott amerikai kísérletek.....	183
A TACRV sugárhajtású légpárnás	184
Ma is létező, illetve működő légpárnás vasutak	185
A légpárnás vasutak „jövője”	187
Felhasznált források és képek.....	188
GROUND EFFECT-VONATOK	189
Bevezetés.....	190
Mi az a Ground Effect?	190
A Ground Effect, légpárna és a hagyományos repülőgépek közti különbségek – az ekranoplánok	191
Néhány érdekesebb ekranoplán	193
GROUND EFFECT-VONATOK	195
Az egyetlen képviselő: a japán Aero-Train kísérleti Ground Effect vonat	196
Tervek a jövőre	197
Szép álmok.....	198
Felhasznált források és képek.....	198
AKKUMULÁTOROS VASÚTI JÁRMŰVEK.....	199
AZ AKKUMULÁTOROK	200
Bevezetés.....	200
Hogyan működik az akkumulátor?.....	200

Akkumulátortípusok.....	202
Az akkumulátorok jelentősége a modern közlekedésben.....	204
Az ólom-sav akkumulátorok	206
Alkáli elemek.....	207
A NiMH-akkuk.....	208
A Li-ion akkumulátorok	209
Az akkumulátorok története.....	209
Akkumulátorok és hagyományos mozdonyok – melyik a jobb, miért?.....	213
AKKUMULÁTOROS VASÚTI JÁRMŰVEK.....	215
A PSB Akkumulatortreibzug-ja.....	215
Az új-zélandi NZR RM	218
A Drumm Battery Train - Írország	220
BR BEMU akkumulátoros motorvonat	221
A német siker: A DB ETA 150-es akkumulátoros motorvonatai	222
Föld alatti akkumulátorosok – A londoni metró kiszolgálói	223
Az akkumulátoros vasúti járművek unokatestvérei – A londoni Heathrow repülőtér ULTra utasszállítói	224
AKKUMULÁTOROS MOZDONYOK	225
Norfolk & Southern NS999: az első igazi akkus mozdony	226
Az akkumulátorok jövője a vasúti közlekedésben	228
Felhasznált források és képek.....	228
SZUPERKONDENZÁTOROS VASÚTI JÁRMŰVEK	230
A SZUPERKONDENZÁTOROK	231
Mi az a szuperkondenzátor?.....	231
Működési elvük.....	231
A szuperkondenzátorok előnyei	233
Súlyos hátrányok.....	234
Szuperakkumulátorok: Rövidtávú megoldás vagy a jövő energiatárolója?.....	235
A szuperkondenzátorok története	237
Kondenzátoros járművek: „Capa-vehicles”	238
Néhány alkalmazás a vasút területén	239
Folyt. köv.....	239
Felhasznált források és képek.....	240
ÜZEMANYAGCELLÁS MOZDONYOK.....	241

AZ ÜZEMANYAGCELLÁK	242
Bevezetés.....	242
Mi az az üzemanyagcella?	242
Hogyan működik?	242
Gép, amely soha nem romlik el.....	243
...csak éppen sokba kerül!	244
Az üzemanyagcellák altípusai	246
Az űrverseny besegít – az üzemanyagcellák története	248
ÜZEMANYAGCELLÁS VASÚTI JÁRMŰVEK	250
Az első fecske - 2002	250
A japán RTRI.....	251
Hydrogen Hybrid – A legmodernebb, legerősebb	252
A közelmúlt újdonságai	254
Az üzemanyagcellák jövője a vasúti vontatásban	254
Felhasznált képek és források.....	255
TÖBBES ÜZEMŰ MOZDONYOK ÉS MOTORKOCSIK	256
VEGYES MEGHAJTÁSOK.....	257
Bevezetés.....	257
Mi a jó a vegyes hajtásokban?	257
Mi számít „vegyes hajtásnak”?	259
TÖBBES ÜZEMŰ VASÚTI JÁRMŰVEK	259
Dízelmotor + akkumulátor	259
Dízelmotordonyok és motorkocsik akkumulátoros hajtással (dízeldízelhibridek).....	260
Csehszlovák atyafi: Az első dízelhibrid	261
Az első komoly gyártmány: Railpower GG20B „Green Goat”	261
A GE válasza: GM-EMD „Ecomagination” – 200 tonna zöld erő	262
„Hayabusha” a síneken: BR Class-43.....	263
A savannah-i dízel-villamos.....	264
Magyar siker: a lillafüredi kisvasút „hibridesített” Mk48-asa.....	264
Oroszország	266
Japán	266
Németország: az Alstom dízelhibrid tolatómozdonya	267
A dízelhibridek jövője	267
Külső táplálású villanymotor + akkumulátor	268

Akkumulátoros (önjáró) villanymozdonyok, vasúti járművek	269
A Kennecott bánya mozdonyai	269
100 év a föld alatt - A londoni metró akkumulátoros karbantartó kocsijai.....	270
A városi vasutak önjáró kötöttpályás járművei – villamosok, metrók	273
Dízelmotor + külső táplálású villanymotor	275
Dízelmotoros villanymozdonyok, villanymotoros dízelmozdonyok és motorkocsik a világban ..	275
BR Class-73 dízelmotoros segédhajtású villanymozdony	277
Az angol InterCityExpress jövője: kettős üzemű motorvonatok	278
A „cápaorrú” Baldwin RP-210	278
USA: „Dízelmozdonnyal behajtani tilos!”	279
Magyarország: a hódmezővásárhelyi TramTrain	280
Mit hoz a jövő?	281
Szuperkondenzátoros vegyes hajtások	281
Alstom Citedis STEEM.....	282
A genfi szuperkondenzátoros villamos.....	282
Dízelmotor + gőzgép	283
A Kitson-Still gőz-dízel mozdony	284
Cristiani gőzkompreszoros dízel-gőz hibrid.....	285
Sztálin dízel-gőzmozdonyai.....	286
Villany + gőzgép	289
A svájci gőz-villamos tolatómozdony	290
HÁRMAS ÜZEMŰ MOZDONYOK ÉS EGYÉB ÉRDEKESSÉGEK	291
Dízelmotor + külső táplálású villanymotor + akkumulátor	291
Gázturbina + lineáris villanymotor + sugárhajtómű.....	291
Felhasznált források és képek.....	292
KÜLÖNLEGES GŐZMOZDONYOK	294
Bevezetés.....	295
ULTRAMAGAS NYOMÁSÚ GŐZMOZDONYOK (SZUPERGŐZÖSÖK)	295
Hogyan emeljük egy gőzmozdony teljesítményét? – „tuningtippek” gőzmozdonyokra	295
A szupergőzösök előnyei és hátrányai	297
A Schmidt-féle fűtőrendszer.....	297
A Schwarzkopff-Löffler fűtőrendszer	298
A német DRG H2-1001 „Hochdruck”	299
A PLM 241 B1 szupergőzös	300

A 232.P1 kísérleti gőzmotoros mozdony.....	301
LMS Fury: a halálos fúria	303
LNER 10000 „Hush hush”	304
A svájci Eb/5 – „a világ legcsúnyább gőzmozdonya”.....	305
CPR 2-10-4, a kanadaiak próbálkozása	306
American muscle – Az USA szupergőzösei	306
HÁRMAS TAGOLÁSÚ (TRIPLEX) GŐZMOZDONYOK.....	311
Előzmények.....	311
Három a gőzmozdony – a triplex gépek	312
2-8-8-2 „Erie-triplex”	313
2-8-8-4 „Virginian triplex”	313
További vad ötletek.....	314
EGYÉB KÜLÖNLEGES GŐZMOZDONYOK, ÓRÜLT ÖTLETEK.....	315
A Heilmann-féle gőz-elektromos mozdony – Fusée électrique	315
A Holmann-lokomotív	317
Az „Onward” szögletes kerekű mozdony	319
A végszó.....	319
Felhasznált képek és források.....	321
Az előlapon látható képek forrásai:	321