

URBÁN ISTVÁN

Közlekedésmérnök

MÁV Pályaműködtetési Zrt. (Központi Felépítményvizsgáló Igazgatóság)

Dél-Magyarország kelet-nyugati kapcsolatának javítása hibrid motorvonatok alkalmazásával

Előszó

A szerző a cikk eredeti változatát még 2012-ben diplomaterveként készítette és adta be Győrben. Az eredeti anyag a most közölt íráshoz képest több területre is kitékint, mint pl. a vizsgált alkalmazási terület akkori menetrendi struktúrája és egy javasolt új menetrend, de egy szaklapban érthetően nincs arra hely, hogy minden, szerző általi fontos gondolat benne legyen.

Az elmúlt évtized változásai, úgy mint a települések lélekszáma a cikkben aktualizálva olvasható. Az elmúlt évtizedben a költségek évről-évre emelkedtek, ezért a cikkben mindig a diplomaterv évére utalhatunk, illetve arra, hogy korább, későbbi időpontú adattal szolgálhatunk.

Tanulmányom a hibrid motorvonatok magyarországi alkalmazásának lehetőségeit vizsgálja. Célja a kiválasztott területre legalkalmasabb hibrid jármű javaslatának és a javasolt jármű paramétereire tervezett menetrend felállítása.

A vizsgálat a magyarországi vasúti vontatás két meghatározó vontatási rendszerének történeti és üzemviteli bemutatása által megalapozza a hibrid jármű javaslatát. Ennek során nagy hangsúlyt kap a jelenleg üzemben lévő MÁV vontatójárművek energiafelhasználásának vizsgálata, valamint az üzemvitel szempontjából fontos mozgáscsere folyamata.

A megfelelő hibrid motorvonat kialakítása szempontjából fontos témakör a jelenleg üzemben lévő motorvonatok vizsgálata, valamint a motorvonati és a hagyományos mozdonyos üzem összehasonlítása. A vizsgálatok eredményeképp a későbbi fejezetekben tárgyalt alkalmazási terület figyelembevételével javaslatot teszek egy lehetséges hibrid motorvonat kialakítására.

Gazdasági elemzést végzek a javasolt hibrid motorvonat üzemeltetési költségeinek terén, melynek során elvégzem a kiválasztott alkalmazási területen a vizsgálat idején közlekedő járművek fogyasztási és karbantartási adatainak az általam javasolt hibrid motorvonat várható értékeivel történő összehasonlítását.

I. A vontatási nemek összehasonlítása

A dízelvontatás aránya a 2000-es évek elejére a korábbiakhoz képest jelentősen háttérbe szorult. A dízelvontatás minőségi jellemzőinek – üzemkézség és megbízhatóság növelése, fajlagos fenntartási és üzemelési költségek csökkentése – javítását fontos feladatnak tekintik.

A korábbi korszerűtlen, nagy fogyasztású dízelmotorokat igyekeztek korszerűbb, kisebb fogyasztású erőgépekre cserélni a remotorizációs program keretében. Ezeknek a járműveknek a karbantartási és fenntartási költségei alacsonyabbak lettek, csökkent a fajlagos gázolaj és kenőolaj fogyasztásuk.

A költségek csökkentése mellett azonban továbbra is megmaradt a dízelmotorok környezetszennyező hatása. A dízelmotorok elsősorban a kibocsátott káros anyagokkal szennyezik a környezetüket. Az égéstermékek közül a szénmonoxid (CO), a különböző nitrogénoxidok (NO_x), a szénhidrogén (CH) gázok és a szilárd halmazállapotú korom hatása jelentős (1. táblázat).

Szennyezés fajtája	Fajlagos érték, g/kWh
CO-kibocsátás	4,33
NO _x -kibocsátás	9,65
CH-kibocsátás	0,99
Koromkibocsátás	2,53

1. táblázat Dízelmotorok károsanyag kibocsátása

Forrás: Vasúttechnikai kézikönyv, Bp. 2006.,

szerk.: Prof. Dr. Zobory István

A gázolaj égése folyamán kilogrammonként kb. 15m³ levegőt használ el. A dízel-vontatójárművek a gázolaj és kenőanyag folyás, -elcsöpögés által is szennyezik a talajt, és bemosódás révén élővizeinket is. Az elfolyó gázolaj jelentős mennyiségű, de gyakorisága, nagysága nehezen számszerűsíthető.

A technológiai fegyelem betartásával az olajszennyezések csökkenthetőek, de teljes megszüntetésüket nem lehet várni.

A haladó vonat zajt kelt, aminek egyik összetevője a kerék-sín kapcsolatából eredő zaj, a másik a vontatójármű által kibocsátott zaj. Napjainkban EU-s Általános



1. ábra ÖBB 2016 sorozatú korszerű dízel-villamos mozdony, Siemens ER mozdonycsalád. Fotó: Urbán István

Műszaki Előírások (TSI) határozzák meg a járművek által kibocsátható zajszintet, továbbá területi besorolásba napszakokként bontásban állami rendeletek szabályozzák. A dízelmozdony üzemeltetésével ez utóbbi nehezen betartható, bár a korszerű dízelmozdonyoknak (pl. Siemens EuroRunner (ER) mozdonycsalád, 1. ábra) lényegesen kisebb a zajterhelése, mint elődeiknek.

A fenti káros hatásokon túlmenően nem elhanyagolható a dízeljárművek felsővezeték alatti üzemeltetésének kérdése sem. A kipufogógázok szennyeznek a munkavezetéseket, károsan befolyásolják azok élettartamát. A dízelvontatás üzemeltetési költsége az európai költségstruktúrában sokkal nagyobb, mint a villamos vontatásé. Ez akkor is igaz, ha a villamosításhoz szükséges beruházások nem terhelik a dízelvontatást.

A dízelvontatás vasútüzemi szempontból azért hátrányos, mert az európai pályákon szabványos, megengedett 22,5 tonna tengelyterhelések esetén a nagyobb sebességű és/vagy nagyobb elegytömegű vonatok továbbításához nem elegendő az egy dízel vontatójárműbe beépíthető teljesítmény. Ezért, ha egy vasút nem villamosított fővonalon 160 km/h vagy nagyobb sebességgel kényszerül traktionálni, illetve 100-120 km/h sebességgel 1000-1200 tonnánál nagyobb tömegű tehervonatot kell továbbítani, akkor azonos vontatási feladat ellátásához több dízel vontatójármű szükséges, mint villamos.

A dízelvontatás negatív hatásai mellett találunk néhány mellette szóló érvet is. Ilyen érv, hogy természetesen nem éri meg minden vonalat villamosítani, gondoljunk csak a mellékvonalakra, ahol napi néhány pár vonat közlekedik, az iparvágányokra, rakodóvágányokra. A villamos felsővezetéki rendszer komplexitása sok hibalehetőséget, sérülékenységet rejt magában, ami által a villamos vontatás zavarérzékenysége magas. A villamos felsővezetéki rendszer sérülése, meghibásodása esetén a közlekedés fenntartása – amennyiben van szabad pályakapacitás – csak dízel vontatással lehetséges (vonatok átemelése a feszültségmentes szakaszokon, kerülő útirányon át közlekedte-

tés). Egy tervszerű feszültségmentesítés során is a dízel vontatásra (dízel kitolómozdonyok) támaszkodhatunk. A dízel vontatásnak fontos szerepe van a villamos vontatás kiegészítésében, kiegészítésében.

1.2 A villamos vontatás előnyei és hátrányai

A MÁV vontatási teljesítményének több mint 85%-át a villamos vontatójárművek teszik ki. A villamos vontatás környezeti hatásait vizsgálva, megállapítható, hogy az lényegesebben kedvezőbb a dízel vontatásnál. A kibocsátott zajszinteket összehasonlítva a villamos vontatójármű zaja csak kis sebességnél nagyobb a vasúti kocsikénál. A külső zajra vonatkozóan a zaj TSI-t az új korszerű vontatójárművek, motorvonatok teljesítik. A MÁV hálózatán közlekedő villamos vontatójárművek és motorvonatok vontatáshoz szükséges villamos energiát az országos villamosenergia-hálózatból kapják. Az erőművek pontszerűen helyezkednek el, a lakóterületektől távol, környezetszennyezésük kezelhetőbb és mind nagyobb szerepet játszik a megújuló energiaforrások alkalmazása. A hazai dízel- és a villamos vontatási energia fajlagos mutatószámának 100 etkm-re számított fajlagos értékeinek összehasonlítását a 2. táblázat szemlélteti. [2]

Dízelvontatás, gázolaj kg/100etkm	Villamos vontatás, villamos energia kWh/100 etkm
1,26	3,00

2. táblázat: Dízel és villamos vontatási energia fajlagos összehasonlítása. Forrás: Vasúttechnikai kézikönyv, Bp. 2006., szerk.: Prof. Dr. Zobory István

A számítás a kWh energiafogyasztásra vetített fajlagos emissziós értékek alapján 41870kJ/kg olajegyenérték és 1MJ=0,277778kWh átszámítási szorzó figyelembevételével végezhető el.

1.3 Mozdony, vagy motorvonat

Több német tanulmány is foglalkozott a mozdony és motorvonat gazdaságosságának és hatékonyságának témakörével. Vizsgálódásaik alapján vasutaktól és kutatásoktól függően más és más eredményre jutottak. Az egyes vizsgálódások eredményei azt bizonyítják, hogy a mozdonyvontatás a hatékonyabb, míg mások a motorvonat mellett teszik le a voksot. Néhány német tanulmány a járat hosszától teszik függővé, hogy milyen járművet alkalmazzanak. Azt, hogy melyik vontatási mód lesz a kedvezőbb, azt országonként, a helyi költségek ismeretében, korrektül elvégzett LCC számítás mutatja ki, ehhez viszont megbízható és azonos értékelési szempontrendszerre van szükség. A megbízható eredmények és helyes követke-

tetések csak ilyen körülmények esetén állapíthatók meg. Szükséges peremfeltétel még a gazdasági környezet stabilitása, a költségek kiszámíthatósága és a termelői árak, költségek várható megbízható prognózisa is. Általában kimondható, hogy azonos műszaki színvonalú vontatójárművek esetén a kisebb vonattömeg, kevesebb vonat-továbbítási energiafogyasztással jár, tehát alacsonyabb lesz a vonat-továbbítás üzemeltetési költsége is. E tekintetben a motorvonatok kisebb tömegük miatt általában előnyösebbnek, mint a mozdonyos vonatok. A mozdonyvontatásnál a szerelvényben lévő kocsik száma az utasszám függvényében csökkenthető, illetve növelhető. Ez a művelet csak tolatási mozgásokkal végezhető el. A motorvonatoknál többféle vonatkonfiguráció kiképzésével az utasigénynek megfelelően lehet a vonatok hosszát változtatni (kettő, három, négy, vagy akár több részes motorvonat). A többféle konfiguráció kialakítását részben a vonategység szerkezeti kialakítása – pl. Jacobs-forgóváz – másrészt a jármű engedélyeztetésére vonatkozó előírások indokolják. A motorvonat egységek egymáshoz csatolása is igényel tolatási mozgást, de az önműködő ütközővonókészülékek alkalmazása már nem igényli a járműkapcsolást végző személyt. A korszerű motorvonatok vezérlése lehetővé teszi, hogy a vonat saját magának elvégezze a szükséges fékpróbát úgy, hogy ahhoz a mozdonyvezetőn kívül más személy nem szükséges. Ezzel az élömunka ráfordítás csökkenthető.

A motorvonatok saját tömege a hagyományos szerelvényhez képest kisebb. Ezért a vonat-továbbításhoz szükséges beépített teljesítmény is kisebb lehet, kedvezőbb energiafelhasználással. Az egy ülőhelyre vetített vontatási költségek kisebbek, mint a hagyományos mozdonyvontatásnál. A könnyűszerkezetű járművek –korszerű motorvonatok– sínre gyakorolt káros hatása is kisebbek, mint a hagyományos járművéké. A pályát folyamatosan érő dinamikus hatások a pálya állapotát kedvezőtlenül befolyásolják. Nem mindegy, hogy milyen gyakran kell pályakarbantartást végezni, mekkora ráfordítással.

A vonat-továbbítás energetikai kérdésénél a tömeg mellett igen lényeges szempont a járművek homlokfelületének kialakítása. Áramlástechnikailag kedvezőbben kialakított járműhomlok menetellenállása sokkal kedvezőbb, ezen túlmenően a járművek oldalfalainak megfelelő kiképzésével tovább csökkenthető a légellenállás. Az egy-egy, kevésbé tagolt oldalfal, ahol az ablakok, feljáróajtók szinte belesimulnak, egy síkot képeznek az oldalfallal szintén csökkentik a szerelvény menetellenállását. Zárt motorvonatnál sokkal egyszerűbb ennek a megvalósítása, mint a hagyományos mozdonyvontatásnál. Ez utóbbinál már a mozdony és a kocsisor között szükségszerűen meglévő 1-2 ütközőnyi távolság miatt menetközben a menet-szél turbulens mozgást végez, ami a vonat légellenállását növeli, mert a haladással ellentétes hatású. A szerelvény egyes kocsijai között szintén hasonló jelenség lép fel. A nagysebességű, 200 km/h sebesség feletti járműveknél

az átjárók külső körvonala szinte követi kocsiszekrény körvonalát, ezzel csökkentve a menetszél okozta ellenállást.

Fajlagos költségek, energiafelhasználás

A mozdonyos és motorvonati üzem összehasonlításánál fontos szempont a különböző járművek fajlagos költségeinek és energiafelhasználásának vizsgálata.

Tüzelőanyag fogyasztás alakulása dízelmozdony, illetve motorvonat esetében

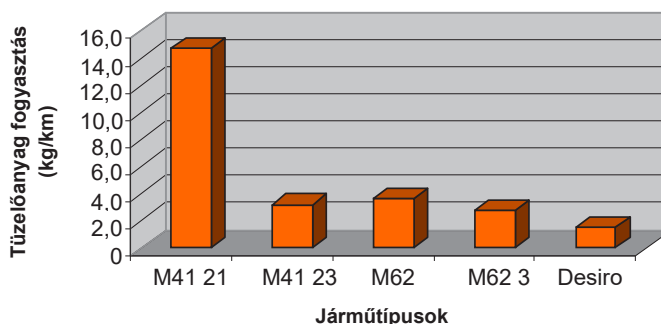
A MÁV néhány reprezentatív dízel vontatójárművének éves göngyölt tüzelőanyag felhasználását összehasonlítva az alábbi képet kapjuk (3. táblázat, illetve 2. ábra). Az összehasonlított járművek között szerepel a 35-40 éves dízelmozdony, remotorizált, korszerűsített mozdony, valamint a 10 éve beszerzett korszerű „Desiro” motorvonat.

	Jármű típus	Tüzelő- anyag fogyasztás (t)	Futástelje- sítőmennyi (km)	1 km –re jutó tüzelőanyag fogyasztás (kg/km)
1	M41 21	11029	748000	14,7
2	M41 23	2974	915000	3,2
3	M62	1284	353000	3,6
4	M62 3	2090	732000	2,8
5	Desiro	690	453000	1,5

3. táblázat: Dízel vontatójárművek összehasonlítása
Forrás: Saját készítés I. Melléklet táblázataiból

A fenti táblázatból látható, hogy a nem korszerűsített „hagyományos” Ganz-Pielstick 12PA4 dízelmotorral rendelkező M41 sorozatú mozdonyok tüzelőanyag felhasználása kimagasló, melyet a 2. ábra is látványosan szemléltet.

Dízelvontatójárművek fogyasztása



2. ábra: A dízel vontatójárművek fogyasztásának összehasonlítása.
Forrás: Saját készítés

A fenti adatok összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a motorvonatok tüzelőanyag felhasználása lényegesen kedvezőbb, mint a hagyományos mozdonyvontatás, legyen az akár eredeti, akár korszerűsített motoros.

Villamosenergia felhasználás villamos mozdonyok és –motorvonatok esetében

A 4. táblázatban bemutatásra kerül néhány összehasonlító adat különböző villamos motorvonatok és mozdonyok villamos energia felhasználásáról.

Jármű típus	Felhasznált villamos energia (kWh)
CORADIA 2	852,8
CORADIA 3	1222,2
CORADIA 4	1593,1
CORADIA 5	1963,9
Skoda 4 2MW	1363,9
FLIRT 4	813,9
FLIRT 5	914,8
FLIRT 6	1072,23
V43+5Bhv+1BDt	1962,05
V43+6Bhv+1BDt	2177,79

4. táblázat: Különböző villamos vontatójárművek vonatvábbításai energiafogyasztása. Forrás: Vasúttechnikai kézikönyv, Bp. 2006., szerk.: Prof. Dr. Zobory István

A táblázat adatait kiértékelve megállapíthatjuk, hogy a villamos járművek esetében is hasonló képet kapunk, mint a dízeljárműveknél. Tehát ennél a vontatási nemnél is a motorvonat javára billen a mérleg.

2. A JAVASOLT HIBRID MOTORVONAT KIALAKÍTÁSA, MŰSZAKI PARAMÉTEREI

Az előző fejezetben megvizsgáltam, hogy a személyszállításban a mozdonyáltal vontatott hagyományos vonat, vagy a motorvonat a kedvezőbb. A vizsgálat tanulságait levonva a későbbiekben bemutatásra kerülő alkalmazási területen motorvonat alkalmazását javaslom.

2.1 A hibrid motorvonat felépítése és kialakítása

A motorvonatok különböző elrendezéseinek vizsgálatát figyelembe véve felvázolom az általam javasolt, az alkalmazási területre leginkább ideális hibrid motorvonatot.

2.1.1 A hibrid motorvonat általános felépítése

Mit is jelent a hibrid motorvonat? Napjainkban nagy hangsúlyt fektetünk a környezettudatosságra, a környezetvédelemre. Ennek eredményeképp egyre környezetbarátabb belsőégésű motorok, alternatív hajtások és

üzemanyagok, valamint egyre kisebb energiafogyasztású villamos gépek jelennek meg. Ezeket a technikai újításokat természetesen a vasúti járműgyártók is átveszik és újabbnál újabb konstrukciókkal jelennek meg. A gyártók és a vasúttársaságok különösen nagy hangsúlyt fektetnek a gazdaságosabban üzemeltethető és zöldebb energiát felhasználó vasúti vontató és vontatott járművek kifejlesztésére és üzemeltetésére. Ennek eredménye az új alternatív meghajtások, erőforrásrendszerek megjelenése. A vasúti járművek terén két fő csoportra bonthatók a napjainkban kialakult erőforrásrendszerek. Az egyik fő csoport a kettős erőforrású járművek csoportja, amikor a jármű dízel és villamos erőátvitellel is rendelkezik. Ez a rendszer nem azonos a vasúton már régen honos dízel-villamos erőátvitellel, ahol egy dízelmotor egy fődinamón keresztül villamos energiát termel, amellyel a villamos vontatómotorok meghajtása történik. (A közúti szóhasználatban ezt a megoldást is hibrid hajtásnak nevezzük.)

A másik nagy csoport pedig a hibrid járművek csoportja, amin belül többféle rendszert is megkülönböztethetünk. Ilyen rendszer az akkumulátoros, amikor a mozdony, vagy motorvonat áramszedővel rendelkezik és a felsővezetékéből történik az akkumulátorok töltése. Ez a megoldás főként rövidebb nem villamosított szakaszokon történő közlekedésre alkalmas, a rendszer korlátozott kapacitása miatt. Jellemző alkalmazott hibrid megoldás még, amikor az akkumulátorokat egy dízel aggregátor és a fékezéskor felszabaduló energia segítségével töltik. Ez a megoldás az előbbinél kedvezőbb, hiszen kevésbé korlátozott, viszont a környezetet hasonlóképp szennyezi, mint egy hagyományos dízel jármű.

A hibrid rendszerek következő csoportja az ún. hármas hibrid rendszer, amikor a dízelvillamos kettős-erőforrású rendszert akkumulátor, vagy akkumulátor-szuperkondenzátor kombináció egészíti ki. Ez a rendszer egyesíti a különböző hibrid rendszerek előnyeit, valamint üzemviteli szempontból semmilyen korlátozó tényező nem jelentkezik.

A tanulmányban a hármas hibrid hajtású járművek lehetséges alkalmazását és felépítését vizsgálom.

A hármas hibrid rendszer alapja a korábban említett régi, jól bevált dízel-villamos erőátvitel. A hibrid meghajtás esetében viszont a jármű alap erőátvitelére a villamos motorvonatok rendszere, vagyis (magyar, nagyvasúti, 25kV 50Hz~) a felsővezetékéből áramszedőn át vett villamos energia egy transzformátoron folyik át és onnan kerül a mikroprocesszor által vezérelt áramirányítókra és a vontatómotorokba. A motorvonat hibrid mivoltát a beépített dízelmotor(ok) és az akkumulátorok adják, amelyek a nem villamosított szakaszokon biztosítják a meghajtáshoz szükséges energiát. Az akkumulátorok töltése villamosított szakaszokon a felsővezetékéből történik, továbbá a fékezéskor keletkező energiát is a töltésükre használjuk fel. Azon szakaszokon, ahol nincs felsővezeték és a fékezéskor visszanyert energia kevés a jármű vontatási és segédüzemi energiaigényének a kielégítésére

az akkumulátorok töltése a beépített dízel-aggregátorral történik, valamint ez a gépcsoport szolgáltatja a vontatáshoz szükséges energia egy részét is. Az akkumulátorok alkalmazásával csökkenthető a dízelmotor teljesítménye, ami kedvezőbb üzemanyag-fogyasztáshoz és a környezet kisebb terheléséhez vezet. Megfelelő programozással és szabályozással elősegíthető a motor minél jobb hatásfokon történő üzemeltetése, ami további megtakarításokat eredményez.

A vizsgálat során egy távolsági forgalomhoz ideális kialakítású jármű szerepel, melynek adatait az 5. táblázat tartalmazza.

Szerkesztési szelvény	UIC 505-1
Nyomtáv (mm)	1435
Kocsik/részegységek száma	2-3
Hossz (mm)	~ 42000-65000
Engedélyezett legnagyobb sebesség (km/h)	Dízel: 120, Villamosan és hidegen vontatva: 140
Áramnem	25kV, 50Hz
Villamos teljesítmény (kW)	1800
Dízelmotor(ok) teljesítménye (kW)	300-600 ¹
Gyorsulás (m/s ²)	0,85-1,0
Erőátvitel	villamos
Kapcsolókészülék	Scharfenberg tip. automatikus központi vonókészülék
Fékrendszer	KE-GPR+Mg+E D

5. táblázat: A javasolt jármű műszaki adatai

Forrás: Saját készítés, alapul véve a hasonló kategóriájú dízel és villamos motorvonatok adatait

A javasolt hibrid motorvonat kialakítása a 3. és 4. fejezetben megvizsgált tényezők figyelembevételével történt.

2.1.2 Erőátvitel és hajtásrendszer

A motorvonat alapesetben villamos erőátvitelű, amelyet dízelaggregátor(ok) és akkumulátorok egészítenek ki. Villamos erőátvitel esetén a felsővezetékbe nyert energia az áramszedőn és főmegszakítón keresztül a főtranszformátorba jut. A főtranszformátor szekunder feszültsége egy közbelső egyenirányítón folyik át. Az egyenirányított feszültség egy szaggatón megfelelő frekvenciára való átalakításra kerül, majd a mikroprocesszoros vezérlő elvégzi a terhelés és sebességszabályozást. Innen az áram a vontatómotorokba kerül, amelyek a kedvező karbantartás, súlymegtakarítás és jobb helykihasználás céljából aszinkron motorok, amelyek rugalmas kapcsolaton ke-

resztül adják át forgó mozgást a hajtott kerékpárok tengelyeire.

Villamosított vasútvonalakon az akkumulátorok töltése a felsővezetékéről történik. Az akkumulátorok töltését szolgálja még a fékezéskor felszabaduló energia és nem villamosított vasútvonalakon a dízel aggregátor. Hibrid üzemmód esetén a vontatási energiát megosztva az akkumulátor és a dízel gépcsoport biztosítja. Ezzel csökkenthető a dízelmotor teljesítménye, tehát kisebb dízelmotor építhető be. Az akkumulátoroknak köszönhetően hibrid üzemmódban is tartható a villamos üzemmódban biztosított menetdinamika.

A dízel vontatás esetén mintegy 300-600 kW dízelmotor teljesítményre van szükség a jármű tömegének és a hibrid rendszer kialakításának függvényében. Ezt a teljesítményt több dízelmotorra elosztva is el lehet helyezni a jármű alváza alatt. A dízelmotorokhoz kapcsolódik egy-egy aszinkron generátor, ami a vontatómotorok és az akkumulátorok táplálásához szükséges villamos energiát termeli.

A megtermelt energia a villamos vontatásnál leírt közbelső egyenirányító egységbe csatlakozik be. Innentől fogva a villamos és a hibrid üzemmódú hajtásrendszer megegyezik egymással.

A hajtásrendszer, valamint annak vezérlése lehetővé teszi az elektrodinamikus fékezés megvalósítását, ami fékezés esetén az akkumulátorok töltésére szolgál, valamint a hálózatba villamos energiát táplál vissza. A dízel vontatás esetén a felsővezetékbe való visszatáplálás nem lehetséges, ezért a fékezéskor termelődő energia akkumulátorokba kerül és később felhasználhatóvá válik.

2.2 Kettős erőforrású és/vagy hibrid motorvonatok a piacon

Az általános, az alkalmazási területre legideálisabb hibrid motorvonat megfogalmazása után lássunk néhány példát, melyek a leginkább hasonlítanak, illetve amelyekből a legegyszerűbben és legköltséghatékonyabban kialakítható az általam felvázolt és javasolt motorvonat.

2.2.1 SNCF AGC

A francia államvasút (SNCF) a regionális forgalom fejlesztésére 2004 és 2010 között nagy számban szerzett be a Bombardiertől dízel, villamos és kettős erőforrású három- és négyrészes AGC (Autorail à Grande Capacité) motorvonatokat. A kettős erőforrású változatból (81500 és 82500 sorozat, 3. ábra) 185 és 141 darabot állítottak forgalomba. Alkalmazási területük leginkább a nem villamosított mellékvonalak. A dízel-villamos hajtású motorvonatok 160 km/h legnagyobb sebességre alkalmasak, 1500V egyenáramról, 25000V 50Hz váltó-áramról, vagy a két MAN dízelmotor által meghajtott generátorral termelt

¹ A jármű tömege és a hibrid rendszer kialakításának függvénye.



3. ábra: Kettős erőforrású AGC motorvonat (Fotó: hu.wikipedia.org)

villamos energiáról üzemelnek. A háromrészes motorvonatokban 133, a négyrészesekben 174 ülőhely található. A járművek másodosztályúak és teljes egészében klimatizáltak. El vannak látva zárt rendszerű, kerekesszékes utasok által is használható WC-vel, az alacsonypadlós kialakítás pedig megkönnyíti az utasok beszállását.

2.2.2 STADLER motorvonatok

Az SNCF forgalomban lévő hibrid motorvonataival mellett érdemes megvizsgálni a svájci STADLER cég rendkívül rugalmas, moduláris felépítésű motorvonatait is.

Megkeresésemre a Stadler Rail AG-től kapott válaszból megállapítható, hogy a FLIRT járműcsalád moduláris felépítésének köszönhetően egy általam javasolt hármas hibrid rendszerű motorvonat is kialakítható. Ennek alapjául szolgálhat az Észti Vasút (Elron) részére gyártott dízelüzemű FLIRT motorvonat. A 2010-ben létrejött megállapodás alapján összesen 38 motorvonatot szállít le a STADLER az Észti Vasútnak. Ebből 8 háromrészes és 6 négyrészes dízel üzemű. A dízelüzemű motorvonatokat a kedvezőbb gyorsulások elérése és a gazdaságosabb üzem érdekében szuperkondenzátorral látták el.

A 160 km/h-s engedélyezett sebesség és a hozzá tartozó – szuperkondenzátornak köszönhető – 0.85 m/s^2 gyorsulás a dízel motorvonatok között egyedülálló. A dízel erőforrás elhelyezésére a GTW10 motorvonatcsaládból ismerős közbenső „gépes egység” került elhelyezésre (4. ábra) a motorvonatban.

A jármű a mai kor követelményeinek megfelelően wifi-vel, hálózati csatlakozókkal, többcélú térrel és kerekesszékesek által használható WC-vel is fel van szerelve. A megjelent sajtóközleményből kiderül, hogy az utasszámok átlagosan 45%-kal nőttek az új motorvonatok forgalomba állításával. Az új járműveknek köszönhetően az üzemanyag fogyasztás 30%-kal csökkent. A FLIRT motorvonatoknak köszönhetően az Elron 56%-kal tudta növelni a járatsűrűséget az üzemeltetési költségek növekedése nélkül.

Az észti dízel FLIRT motorvonat a hármas-hibrid rendszerű továbbfejlesztése a 2.1 fejezetben leírt elvárásokat kielégítene. STADLER jármű beszerzése esetén a karbantartás racionalizálható, hiszen hazánkban jelentős nagyságú STADLER motorvonat flotta üzemel a MÁV és GySEV vonalain.

3. A HIBRID MOTORVONATOK LEHETSÉGES ALKALMAZÁSI TERÜLETE

A fejezetben bemutatásra kerül a vizsgált terület földrajzi fekvése, népessége, a vasútvonalak története, valamint infrastruktúrája és forgalma. A Kecskeméttől Kiskunfélegyházán, Kiskunhalason, Baján áthaladó, Dombóvár, Kaposvár érintésével közlekedő Dél-Alföldet a Dél-Dunántúllal összekötő InterRegio, vagy más néven „délkör” vonat útvonala, több vasútvonalon keresztül Nagykanizsáig húzódik.

Fontosnak tartom egy olyan átlós összeköttetés megvalósítását Dél-Magyarország régiói között, amely az utasoknak valós alternatívát kínál a déli régiók közötti vasúton történő utazásra Budapest érintése nélkül. A hibrid motorvonatok magyarországi alkalmazásának pedig egyik ideális területévé válhatna.

3.1 A vasútvonalak földrajzi fekvése, története

A „délkör” vonat útvonalának első szakasza a 140. számú Budapest-Cegléd-Szeged fővonal Kecskemét-Kiskunfélegyháza szakasza. A Cegléd-Szeged-Temesvár vasútvonal tervei már 1847-ben elkészültek, de a megvalósításukra 1853-ig kellett várni. Ekkor készült el az első –Cegléd-Kiskunfélegyháza- szakasz. A második Kiskunfélegyháza-Szeged szakasz egy évvel később, 1854-ben



4. ábra Az észti Vasút (Elron) dízel STADLER Flirt motorvonatainak rajza, középen a gépes egységgel. Forrás: transport-games.ru



5. ábra A vizsgált terület vasútvonalai. Forrás: MÁV-Start személyszállítási térkép alapján saját készítés

épült meg. A vasútvonal villamosítása 1980-82 között valósult meg.

A vizsgált szakasz kiindulópontja Bács-Kiskun megye székhelye Kecskemét. A 109450 fős város a térség legjelentősebb ipari, gazdasági és kulturális központja. Üzemei, ipari parkjai, iskolái, valamint egyéb intézményei jelentős ingázó forgalmat generálnak. A Cegléd-Szeged vasútvonal másik jelentős városa a 28562 lélekszámú Kiskunfélegyháza. A város iskolái és munkahelyei szintén jelentős vonzaskörzetté teszik.

Kiskunfélegyházától a 155. számú Kiskunfélegyháza-Kiskunhalas vasútvonalon közlekedik, mely a Kiskunságon halad keresztül. A vasútvonal eredetileg helyiérdekű (HÉV) vasútvonalnak épült. Az első Kiskunfélegyháza-Majsa szakaszt 1899-ben adták át, míg a második Majsa-Kiskunhalas szakasz csak 1912 októberére készült el. A Szovjetunió és Jugoszlávia közötti nagy teherforgalom miatt 1980-ban villamosították a vasútvonalat.

A legjelentősebb közbenő állomás Kiskunmajsa, ahol átszállási lehetőség volt a Kiskunmajsa-Kecskemét közötti „Bugaci” kisvasútra. A 11127 fős kistérségi székhely múzeumaival, tájházával és élményfürdőjével kedvelt célpontja a turistáknak, valamint komoly hivatásforgalmat lebonyolító állomása a vasútvonalnak.

A vasútvonal déli végpontja a 26584 fős Kiskunhalas, mely járási székhelyként a térség legjelentősebb városa.

A „délkör” vonat útvonalának következő szakasza a 154. számú Kiskunhalas-Baja-Bátaszék vasútvonal, amely a Dél-Alföldet összekapcsolja a Dél-Dunántúllal. A mai vasútvonal két egykori, a trianoni békeszerződés előírásai alapján megcsonkolt vasútvonal Magyarországon maradt szakaszaiból áll. Bajáról eredetileg Szabadkára tartott a Szabadka-Baja vasútvonal, amelyet Bácsalmásnál keresztezett a Kiskunhalas-Bácsalmás-Regőce-vasútvonal. A vasútvonal legjelentősebb városa

Baja, mely 32759 fős népességével Bács-Kiskun megye második legnagyobb városa. Kikötője és Duna hídja miatt jelentős forgalom bonyolódik le a városban és a város körül.

A vasútvonal dunántúli szakasza az ártéri erdős területeiről híres Gemencen át folytatódik, mely Nemzeti Park, így kiemelt szerepe van a környezetvédelemnek. A vasútvonal végpontja Bátaszék, ahonnan két irányba folytathatjuk utunkat (Dombóvár és Sárbogárd).

Az InterRegio vonat útvonala az 50. számú, 1873-ban megnyitott Dombóvár-Bátaszék vasútvonalon folytatódik. A szakasz legjelentősebb települése a 12031 fős Bonyhád, melynek Hidassal közös vasútállomása a településtől távol helyezkedik el. A vasútvonal a 17041 fő lélekszámú Dombóvárnál kapcsolódik a 40. számú Budapest-Pécs vasútvonalhoz. A város Tolna megye második legnagyobb városa, kistérségi és gazdasági központ.

Dombóvártól indul az 1872-ben megnyitott, 41. számú Dombóvár-Gyékényes vasútvonal, amely egykor a Zákány-Dombóvár-Bátaszék vasútvonal része volt. A Dombóvár-Bátaszék szakasz ma már a korábban tárgyalt 50. számú vasútvonal. Dombóvár 1882-ben a Budapest-Pécs vasútvonal megnyitásakor vált csomóponttá. Az új vonalon a MÁV Újdombóvár néven új elágazó állomást létesített. Ma ez az állomás viseli a Dombóvár nevet (így a vonal kiinduló pontja), míg a régebbi, Kaposvári vonalon található állomást Dombóvár alsóra keresztelték át. A másik eredeti végpont, Zákány állomás helyett felépült a szomszédos Gyékényes állomás, így a vonatok irányváltás nélkül tudnak tovább közlekedni Zágráb felé. A vasútvonal szerepe rendkívül fontos volt az Adria felé irányuló közlekedésben, Trieszt és Fiume elérésében. A vasútvonalat több lépcsőben – 1988-ban Kaposvárig, 1992-ben Somogyszobig, majd 1994-ben a vasútvonal végpontjáig, Gyékényesig- villamosították. A vasútvonal legjelentősebb városa Kaposvár.

Járművek	Ülőhelyek száma	Gázolaj-fogyasztás (liter/km)	Fogyasztás költsége (Ft/km)*	Egy ülőhelyre vetített fogyasztás költsége (Ft/km)
6341	132	1,42	326,6	2,474
6342 (Desiro)	110	1,3	299	2,718
Bzmot	40	0,75	172,5	4,313
Hibrid-dízel üz.	~160	1,3	299	1,869

* 230 Ft/liter gázolajjával számolva

6. táblázat: A „délkör” vonalakon közlekedő motorvonatok és a javasolt hibrid motorvonat várható gázolajfogyasztása és annak költségei.

Forrás: MÁV-Start adatokból saját készítés

Járművek	Ülőhelyek száma	Energia-felhasználás (kWh/km)	Energiafelhasználás költsége (Ft/km)*	Egy ülőhelyre vetített energiafelhasználás költsége (Ft/km)
V43+2Bhv	160	5,4	135	0,844
5341 (FLIRT)**	200	4	100	0,5
Hibrid-villamos üz.	~160	3,25	81,25	0,508

* 25Ft/kWh villamos energia árral számolva

** A „délkör” vonalakon jelenleg nem közlekednek FLIRT típusú motorvonatok, de a vizsgálat szempontjából fontos megvizsgálni a fogyasztási értékeit

7. táblázat: A „délkör” vonalakon közlekedő villamos járművek és a javasolt hibrid motorvonat várható energiafelhasználása és annak költségei. Forrás: MÁV-Start adatokból saját készítés

Gyékényestől a 30-as számú Budapest-Székesfehérvár-Gyékényes és a 60-as számú (Nagykanizsa-) Gyékényes-Pécs vasútvonalak közös szakaszán érjük el a 42502 lélekszámú Nagykanizsa, megyei jogú várost, Zala megye székhelyét. A vasútvonalat két társaság építette. A Pécs és Barcs közötti szakaszt a Pécs-Barcsi Vasúttársaság, a Barcs- Murakeresztúr szakaszt a Déli Vasúttársaság. Mindkét szakasz az 1868-as évben került átadásra. Horvátország felé két határállomás helyezkedik el a vasútvonalon: Murakeresztúr és Gyékényes.

4. GAZDASÁGI HATÁSOK

4.1 A hibrid motorvonat energiafelhasználásának költségei

A hibrid motorvonat gazdaságos üzemeltetési feltételeinek egyik alapköve a várható energiafelhasználás összehasonlítása a vizsgált területen („délkör” vonalak) jelenleg közlekedő járművek adataival. A vizsgált vonalakon jellemző dízel és villamos vontatójárművek, illetve motorvonatok MÁV-Starttól kapott energiafelhasználási értékeit kifejezem Forintban, valamint ezeket az értékeket ábrázolom az adott járművek egy ülőhelyére levetített költségeként is. A hibrid motorvonat villamos és dízel fogyasztását a meghatározott paraméterek alapján becsülöm. A dízel üzemű járművek értékeit a 6. táblázat szemlélteti.

A táblázatból látható, hogy az ülőhelyre vetített költségek alapján a jelenleg közlekedő motorvonatok közül a 6341 sorozatú „oroszló” motorvonatok üze- me a leggazdaságosabb, amelyek a Kecskemét-Baja InterRegio fordá- kat is teljesítik. A legnagyobb költséggel a több, mint 30

éves Bz motorvonatok üzemelnek, melyek a vizsgált te- rületen többnyire a Baja-Dombóvár szakaszon közleked- nek. Ezekhez a motorvonatokhoz viszonyítva a javasolt hibrid motorvonat várható fogyasztása és az abból adódó költségei jelentősen kisebbek, melyet a hármas-hibrid rendszer előnye –vagyis, hogy a villamos felsővezeték- ből feltöltött, valamint fékezés- kor az akkumulátorokba vis- zatáplált energiából történik, az energiaszükséglet egy részének kielégítése- tovább csökkenthet. A gázolajfel- használás és annak költségei mellett meg kell vizsgálni a villamosított szakaszon történő villamosenergia felhasz- nálás mértékét és annak költségeit is, melyet a 7. táblázat szemléltet.

A villamos energiafelhasználás tekintetében a 41. szá- mú Dombóvár-Gyékényes vasútvonalon napjainkban jel- lemző öreg, elavult V43 sorozatú mozdonyokkal továb- bított néhány kocsi személyvonat a legkedvezőtlenebb. A legkedvezőbb energiamérleggel a MÁV-Start korszerű FLIRT típusú motorvonatai rendelkeznek. A javasolt hib- rid motorvonat energiafelhasználásának egy ülőhelyre vetített várható költsége nagyjából megegyező a FLIRT motorvonatokéval.

A két táblázat összehasonlításából látható, hogy a vil- lamos üzem jelentősen gazdaságosabb. A korszerű dízel motorvonatok egy ülőhelyre vetített energiafelhasználási költségei is nagyságrendekkel magasabbak, mint a villa- mos társaiké. A hármas-hibrid rendszerrel szerelt motor- vonat villamos felsővezeték- ről feltöltött akkumulátorai és a fékezés- kor – tisztán dízel motorvonatoknál kárba vesző – visszatáplált energiájának újbóli felhasználásával a dízel üzemű szakaszokon a 2 Ft/km körüli költséget to- vább csökkenthetik.

Járművek	Karbantartási költségek (Ft/év)		
	2011	2012	2013
6342 (Desiro)	853 563 379	1 188 482 643	1 130 159 529
Bzmot	1 446 094 034	1 457 001 086	1 515 426 869
V43	3 939 679 667	4 083 774 541	4 368 601 439
5341 (FLIRT)	1 058 000 000	1 075 000 000	1 080 000 000

8. táblázat: Karbantartási költségek. Forrás: MÁV-Start Zrt.

4.2 A javasolt hibrid motorvonat karbantartási költségei

A járművek energiafelhasználásából adódó költségek mellett fontos megvizsgálni a karbantartásból adódó költségeket is. A régi, korszerűtlen, de még mindig nagy darabszámban forgalomban lévő járművek karbantartási költségeinek vizsgálatát megnehezíti, hogy ezekhez a járművekhez felhasznált alkatrészek sokszor a leállított járművekből kerülnek ki, ami torzítja az adatokat. A nagy darabszámú, de elavult járművek karbantartási költségeit pozitív irányba tereli a korszerű motorvonatokhoz beszerzett új alkatrészek sokszor összetettebb konstrukciójukból adódó magasabb ára is.

A 8. táblázatban összefoglalt, adott járműtípusokra évente költött karbantartási költségek így nehezebben kezelhetők, nem mutatnak teljes képet a különböző járművek tényleges üzemeltetési és karbantartási költségeiről.

A táblázatból kiolvasható a V43 sorozatú villamos mozdonyok karbantartási költségei kimagaslóak, a Desiro motorvonatoké pedig kedvezőek, de, ha figyelembe vesszük az üzemben lévő járművek számát, hatalmas különbségek keletkeznek, valamint irreálissá válnak az adatok. Ez esetben egy Desiro motorvonat karbantartására a 2013-as évben 36 456 759 Forintot, míg egy V43 sorozatú mozdony karbantartására -200 mozdonyra leosztva- 21 843 007 Forintot költöttek. Ha feltételezzük, hogy a Desiro motorvonatok karbantartásához új alkatrészeket, a V43 sorozatú mozdonyokhoz pedig többnyire „újrahasznosított” alkatrészt használtak fel sokkal kedvezőbb a két karbantartási költség közötti árkülönbség. Ha a V43 sorozatú mozdonyok karbantartási költségeit a FLIRT motorvonatok költségeivel hasonlítjuk össze, még nagyobb eltérést tapasztalunk. Ez esetben egy darab FLIRT motorvonat karbantartására átlagosan 18 millió forintot költöttek a 2013-as évben, tehát karbantartási költségük alacsonyabb, mint a V43 sorozatú mozdonyoké. Megállapítható, hogy a korszerű motorvonatok kedvezőbb feltételek mellett és olcsóbban üzemeltethetők az öreg, elavult vontatójárműveknél, még abban az esetben is, ha a tényadatok szerint többet költünk a korszerű járműre.

A jelenleg üzemben lévő járművek karbantartási költségeinek elemzése mellett meg kell vizsgálni a javasolt hibrid motorvonat várható karbantartási költségeit is. A hibrid jármű összetett hármashibrid hajtásrendse-

rének következtében a karbantartási költségek egy „hagyományos” dízel, vagy villamos motorvonatétól magasabbak. A hajtásrendszer kialakítása miatt a karbantartási költségek alapjának egy villamos motorvonat karbantartási költségeit lehet alapul venni. A villamos alapot kiegészítő dízel és akkumulátor rendszer karbantartása plusz költséget jelent. Mivel a jármű nem különálló (dízel és villamos) rendszerből áll, valamint a járműszerkezet karbantartási költségei is csak egyszer jelennek meg, ezért mintegy 50%-os költségnövekedést jelent.

A karbantartási költségeknél kiindulónak vettem a FLIRT motorvonatok költségeit, melyek a kapott adatok értelmében egy milliárd forint körül alakulnak éves szinten, motorvonatonként pedig átlagosan 18 millió forinttal számolhatunk. A 18 millió forintos költséghez hozzáadva a hibrid rendszer következtében várható 50%-os többletet, mintegy 27 millió forint körüli összeggel számolhatunk. Összevetve ezt az összeget a vizsgált karbantartási költségekkel megállapítható, hogy még a költségesebb karbantartás ellenére is a leggazdaságosabban üzemeltethető motorvonatok közé tartozna.

A gazdasági vizsgálatokból látható, hogy a vizsgált InterRegio vonatban közlekedő hibrid motorvonatok az üzemeltetésben jelentős költségcsökkenést eredményeznek. A gázolajhoz viszonyított villamos áram költségek jóval kedvezőbbek. A villamos felsővezetékéből és a féke-



6. ábra: A fotón egy 2020-ban világsúcstartó 244 km-t utántöltés nélkül, klímával max. 140 km/h sebességgel közlekedni képes USA-nak gyártott FLIRTakku látható (Forrás: Stadler)

zéskori visszatáplálásból feltöltött akkumulátorok csökkentik a gázolaj felhasználást.

A karbantartási költségek az összetettebb hibrid rendszer következtében egy hagyományos dízel, vagy villamos motorvonaténál magasabbak, de a kedvezőbb üzemvitel és a jelenleg a vizsgált vonalon közlekedő elavult járművekhez viszonyított olcsóbb üzemeltetés mindezt javítja.

A hibrid járművek beszerzésének konkrét költségeit nem vizsgáltam, mivel szakdolgozatomban nem egy már megvalósult hibrid motorvonat típust vizsgállok. A jármű paramétereiből kiindulva a javasolt motorvonat várható beszerzési költsége egy tisztán villamos motorvonat árának mintegy másfélszeresére tehető. Mindezt befolyásolja a valós konstrukció kialakítása, fejlesztési igénye, a gyártó tapasztalata és referenciái, valamint a beszerzendő hibrid motorvonatok darabszáma.

Egy gondolat a lehetséges, gazdaságos délkör jövőjéből:

Szépről, jóról álmodni mindig szabad. *(Szerkesztő hozzászólása)*

A szerző köszönetet mond a diplomaterv készítésében segítséget nyújtott tanárainak, elsősorban Szabó Lajos Tanár Úrnak, továbbá a szolgáltatott adatokért az akkori MÁV-START Zrt. munkatársainak, a diplomaterv szakmai lektorának, Kovács Károly Úrnak és a szakdolgozat elbírálóinak.

Urbán István szakmai életútja

A szerző a győri Széchenyi István Egyetemen, Kötőpályás közlekedési szakirányon szerzett közlekedésmérnöki oklevelet. Pályafutását a magánvasúti szektorban kezdte, ahol a vasúti vontatójárművek üzemeltetésében végzett adminisztratív tevékenységet. A budapesti M3 metró felújított orosz metrószerelvényeinek engedélyezési eljárásában a KTI munkatársaként a szerelvények tartampróbáit felügyelte. 2017 óta a MÁV Központi Felépítményvizsgáló Kft., 2025. január 1-i MÁV Csoportba történő beolvadásától a MÁV Pályaműködtetési Zrt. Központi Felépítményvizsgáló Igazgatóság Vasútüzemi Csoportjában dolgozik, ahol a mozdónyszemélyzet irányításával, oktatás-vizsgáztatásával kapcsolatos teendőket látja el.

HÍREK

Villamos-akkumulátoros motorvonatok néhány mondatban

A németországi Schleswig-Holstein tartományban 2023. évtől 55 FLIRTakku motorvonat üzemel.

A vonatok 2023. október 1-je óta üzemelnek az akkumulátorhálózatban (korábban XMU hálózat), a Holstein, 2023 decembere óta pedig a nordbahn különböző vonalain Schleswig-Holsteinben és a szomszédos szövetségi államokban közlekedik.

RS ZERO

Az RS ZERO-val a Stadler bemutatta a sikeres Regio-Shuttle RS1 modell utódját. Az RS ZERO két

modern és környezetbarát hajtástechnológiával kapható: hidrogénnel, vagy akkumulátorral. A jövőben mindkettő változat lehetővé teszi a mellékvonalakon CO₂-kibocsátásmentes üzemeltetést.

Könnyű és rugalmas: FLIRT

A FKIRT intelligens, innovatív kialakítás kipróbált technológiával. Moduláris koncepció, amely világszerte inspirálja az ügyfeleket, több mint 2500 motorvonat közlekedik.

Megjegyzés: A FLIRT akku a 244 km utántöltés nélküli akkumulátoros vontatás világcsúcstartója, a nyomában többen pl., a Skoda. Lásd a Vasútgépészet.hu hírek rovatát.



1. ábra: A világcsúcstartó FLIRTakku Németországban



2. ábra: RS Zero egykocsis változata