

Járműhajtásra alkalmas villamos motorok elemzése

Czeplédi Dávid*, Lakatos István**

**egyetemi tanársegéd, Széchenyi István Egyetem, Győr, c david@sze.hu*

***Dr., habil, PhD, tanszékvezető, egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem, Győr, lakatos@sze.hu*

Abstract: A fosszilis energiahordózával hajtott járművek mellett jelentős kutatások folynak világszerte, az alternatív járműhajtások irányában.

Fontos terület az e-mobilitással kapcsolatos kutatásoké. Ennek egyik központi eleme az elektromos motorok fejlesztése.

Ebben a cikkben a villanymotorokat vizsgáljuk meg járműhajtásra való alkalmasság szempontjából. Emellett elemezzük a jelenleg alkalmazott építési technológia és anyagfelhasználás fenntarthatóságát.

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a városokban, a közutakon és az autópályákon közlekedő járművek energiafelhasználásából fakad a világ CO₂ kibocsátásának 25%-a. Ennek a szektornak a legnagyobb a kőolaj függősége is (mintegy 98%). A civilizáció fejlődése, a motorizáltsági fok növekedése ezeket a számokat tovább növelik [1,3].

Jelenleg a világ járműállománya közel 1 milliárd. Azonban népesség és a technológia fejlődésével ez a szám a szakértők szerint 2050-re a duplájára is nőhet. A mobilitás iránti igény is növekszik: kiemelten a fejlődő országokban, Indiában és Kínában, ahol a gyors népességnövekedés, a gazdasági és társadalmi fejlődés nagy mobilitás iránti igényt jelent [1,2].

Ezt a problémát tovább súlyosbítja az a tény, hogy a Föld kőolaj készletei végesek. A jelenleg ismert lelőhelyek készletei akár már 2050-re is kimerülhetnek [4], vagy olyan mértékben apadnak, hogy a hétköznapi felhasználónak már nem lesznek hozzáférhetőek a kőolaj termékek, így a fosszilis energiahordózával hajtott járművek mellett fokozódik az igény az egyéb hajtásokra is.

A technológia jelenlegi állása szerint a tisztán villamos, közvetett módon villamos, vagy a hibrid hajtás az, ami képes átvenni a fosszilis üzemanyaggal hajtott belső égésű motorok helyét. Az, hogy ezek milyen arányban lesznek, természetesen nem ismert, azonban van egy közös elem mindháromban, a villanymotor.

Ebben a cikkben a villanymotor vizsgáljuk meg járműhajtásra való alkalmasság és a jelenleg alkalmazott építési technológia és anyagfelhasználás fenntarthatóságát.

2. A VILLAMOS MOTOROK OSZTÁLYOZÁSA

Az elektromos hajtású járművek esetén az energiahatékonyság figyelembe vétele mellett nagyon fontos, hogy az adott járműben a megfelelő villamos gépet használjuk. A villanymotorokat az alábbi paraméterekkel tudjuk összehasonlítani és megvizsgálni:

- tömeg/teljesítmény arány,
- tömeg/nyomaték arány,
- térfogat /teljesítmény arány,
- térfogat/ nyomaték arány,
- maximális hatásfok,
- átlagos hatásfok,
- szabályozhatóság,
- fékezhetőség,
- fordulatszám tartomány,
- élettartam,
- zaj,
- rezgés,
- ár.

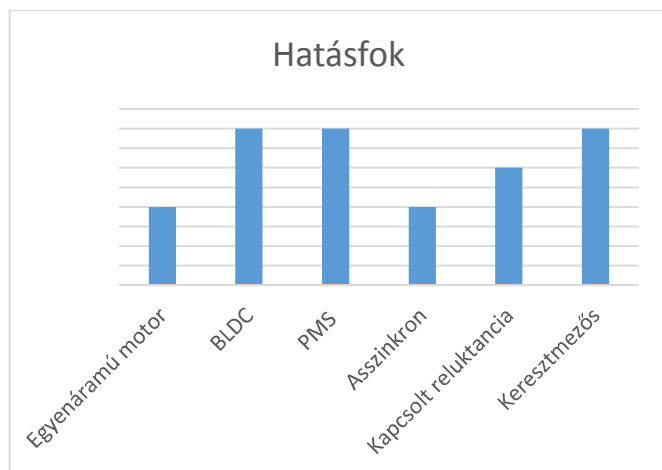
A szakirodalomban találunk ilyen célú vizsgálatokat, amelyek ugyan nem minden tényezőt vizsgálnak, de jó rálátást adnak a villanymotorokra [5,6].

2.1 Vizsgált típusok

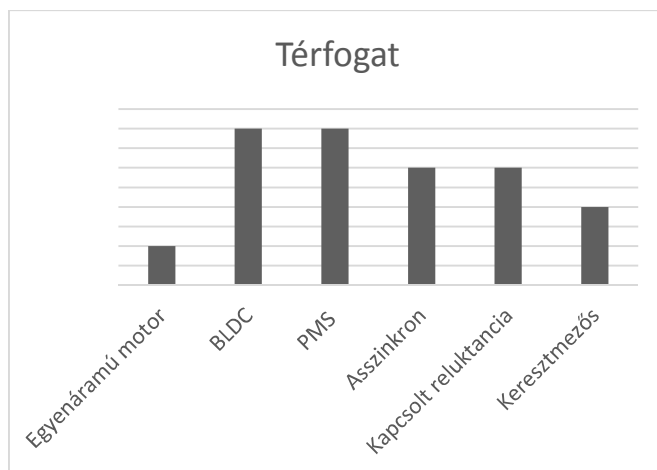
A villamos hajtású járművekben alkalmazható motorok közül az alábbiakat vizsgáljuk:

- egyenáramú motorok,
- állandó mágneses egyenáramú motorok (BLDC=BrushLess Direct Current),
- kapcsolt reluktancia motorok,
- aszinkron motorok,
- állandó mágneses szinkron motorok (PMS motor=Permanent Magnet Synchronous motor),
- keresztmezős gépek.

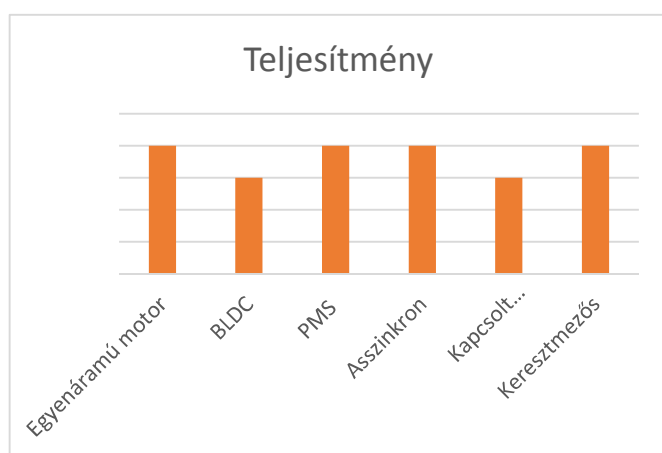
A felsorolt motor típusok mindegyikét alkalmazzák járműhajtásban. A legfontosabb szempontok alapján történő osztályozásukat a következő diagramok mutatják be: minden esetben a magasabb érték jelenti a járműhajtás szempontjából a kedvezőbb megoldás.



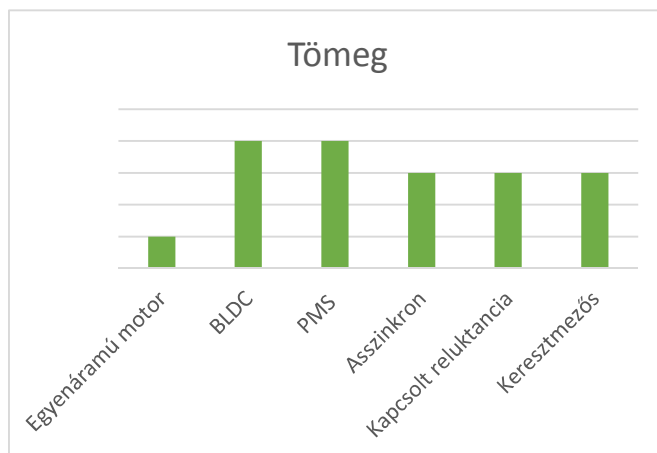
1. ábra: Osztályozás hatásfok szempontjából



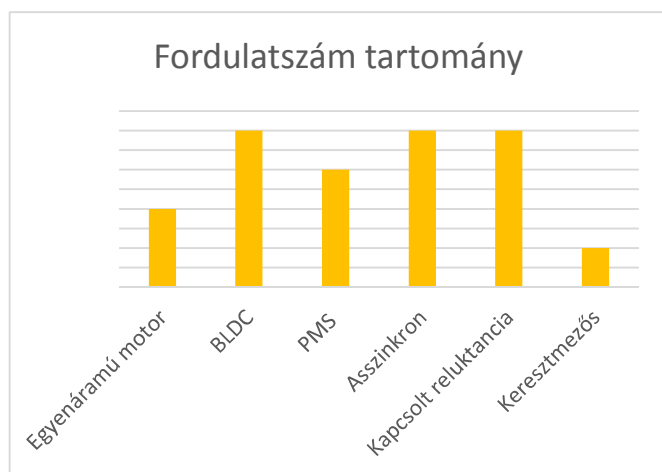
4. ábra: Osztályozás térfogat szempontjából



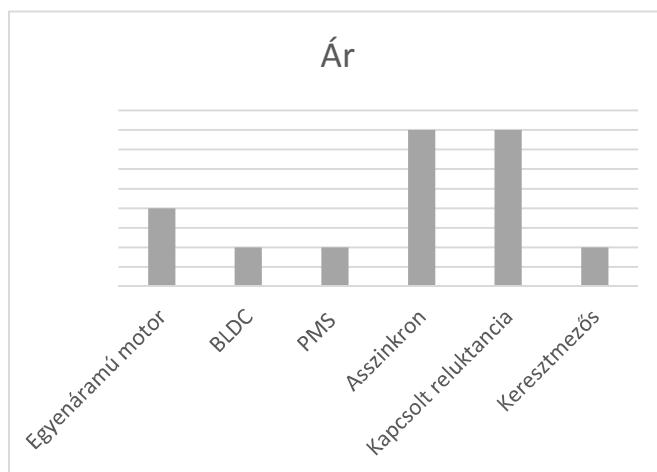
2. ábra: Osztályozás teljesítmény szempontjából



5. ábra: Osztályozás tömeg szempontjából



3. ábra: Osztályozás fordulatszám szempontjából



6. ábra: Osztályozás ár szempontjából

A diagramok összegzése nem egyszerű, nem lehet csupán összeadni az értékeket és a pontszámok alapján rangsorolni. A járműhajtásnál nagyon fontos a hatásfok, ebből a szempontból a BLDC, PMS és keresztmezős motorokra eshet a választás, azonban köztudott, hogy ezeknek a típusoknak az

ára többszöröse is lehet az aszinkron motorokénak. Természetesen ez az árkülönbség egy nagy szériás gyártás esetén csökken, de a felhasznált anyagok és technológia miatt mindenképp fenn áll.

A teljesítményszint főként a különböző járműkategóriákhoz történő besorolásnál segít.

A fordulatszám tartomány szintén nagyon fontos tényező, főként nyomatékleadással összehasonlítva, ugyanis a kicsi nyomaték, vagy fordulatszám hajtómű alkalmazását vonzza magával, ami további veszteségekhez és hatásfok-csökkenéshez vezethet [6].

A térfogat és a tömeg szintén nélkülözhetetlen tényező, főként a mai járműépítési normákat figyelembe véve, mindkét esetben a BLDC és a PMS típusok kiemelkednek a mezőnyből. Persze hozzá kell tenni, hogy ezek a típusok bonyolult és viszonylag nagyméretű meghajtó és vezérlő egységet igényelnek.

Az összes vizsgált tényező figyelembe vételével megállapítható, hogy a BLDC, PMS, és az aszinkron villamos gépek használhatók kiemelten villamos hajtásra. Ez a megállapítás egybevág a jelenleg alkalmazott tendenciával.

2.1 PMS, BLDC és aszinkron motorok vizsgálata réztartalom szempontjából

Réztartalom szempontjából a PMS és a BLDC motor gyakorlatilag megegyezik, azonban az aszinkron motor mintegy 2,2-2,8-szor több rezet tartalmaz adott névleges nyomaték mellett. Ez a 100 kW-os teljesítménykategóriában PMS és BLDC motor esetén 20 kg, míg aszinkron motor esetén körülbelül 50 kg [7].

3. RÉZ ALKALMAZÁSA VILLAMOS HAJTÁSNÁL

A villanymotorokban, szinte kizárólag rezet alkalmaznak a tekercselésnél. Kevésbé ismert tény, de annál fontosabb, hogy a Föld réz készlete fogytán van.

A jelenlegi ismert és jószolt lelőhelyek alapján a készletek 50-100 éven belül véglegesen kimerülnek.[8] Fontos, hogy ez a becslés a jelenlegi réz felhasználás mellett érvényes. Nem vették figyelembe, hogy a rézfelhasználás az elektromos hajtású járművek elterjedésével jelentősen megnő.

3.1 Járműhajtásra használt réz mennyisége

A napjainkban alkalmazott technológiával minden elektromos jármű építéséhez rézre van szükség. A réz mennyisége a villamos motor típusától és a tervezett névleges értékektől függ.

A jelenlegi tapasztalatok alapján 1 személy dinamikus mozgatására városi környezetben 1-3 kW teljesítményű villanymotor elegendő. 2 személy esetén ez már 15-20 kW teljesítményt jelent. 4 főnél ez a szám már 35-45 kW. Természetesen ezek az értékek nőnek, ha nem csak városi környezetben, hanem országúton, vagy autópályán szeretnénk használni a járművünket.

A felhasználás célja szerint az alábbi kategóriákat és teljesítményszinteket állapítottuk meg:

- pedelec,
- robogó,
- motorkerékpár,
- moped-autó,
- személyautó,
- kisbusz.

A következő táblázat a különböző kategóriák becsült teljesítményszintjeit tartalmazza.

JÁRMŰ	P _{város}	P _{országút}	P _{autópálya}
Pedelec	250 W	-	-
Robogó	2 kW	-	-
Motorkerékpár	10 kW	15 kW	20 kW
Moped-autó	15 kW	25 kW	-
Személyautó	40 kW	60 kW	80 kW
Kisbusz	100 kW	150 kW	200 kW

1. táblázat: A járművek teljesítményigényei

Az 1. fejezetben bemutatuk, hogy 2050-re a világ becsült járműszáma eléri a 2 milliárd darabot. Vegyünk egy szélsőséges helyzetet, feltételezzük, hogy az összes jármű hibrid-elektromos illetve teljesen elektromos hajtást használ (eltekintünk az egyéb energetikai, gépészeti és villamos problémáktól). Ebben az esetben – bár a járművek pontos aránya nem megjósolható – a fenti táblázat figyelembe vételével, átlagosan 35 kW/jármű teljesítménnyel számolhatunk. Amennyiben figyelembe vesszük a tömegközlekedés járműveit is, akkor ez a szám már 50 fölé tolódik.

Ilyen teljesítmény mellett – a tapasztalatok szerint – egy motor réz tartalma átlagosan 12 kg.

3.2 Felhasznált réztartalék

Jelenleg a világ éves rézkitermelése 12 millió tonna, és emellett még jelentős, mintegy 2 millió tonna újrahajtosított mennyiség is jelentkezik [8]. A fent említett adatok figyelembe vételével tehát kiderül, hogy a Földön jelenleg rendelkezésre álló rézkészlet (az újrahajtosítást is figyelembe véve) 6%-át a járművek hajtására alkalmas villanymotorok emésztik fel. Ezt a számot tovább növeli a motorokhoz kapcsolódó elektronikai alkatrészek és vezetékek réz tartalma. Megállapítható tehát, hogy az egyébként súlyosan csökkenő rézkészletnek súlyos terhet jelentene, ha a villamos hajtásra csak rezet alkalmaznánk tekercsanyagként. Felmerül tehát a kérdés, hogy milyen anyaggal helyettesíthető a réz.

4. ALUMÍNIUM HASZNÁLHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

A fémek villamos tulajdonságait legjobban a vezetőképességgel tudjuk kifejezni.

A legjobb vezetők az ezüst, és az arany és a réz. Az alumínium már csak a középmezőnybe tartozik. Az arannyal a bekerülési költsége miatt nem foglalkoztunk. Az ezüstrrel és az

alumíniummal hasonlítottuk össze a rézet szimulált környezetben egy adott motor motorban.

A vizsgált fémek vezetőképessége:

- Al 3,4483E-08 (Ohm m)
- Au 1,642E-08 (Ohm m)
- Cu 1,7241E-08 (Ohm m)

A szimuláció elvégzése előtt megállapítottuk, hogy az ezüst, mivel szintén nagyon ritka, nem lesz alkalmas a réz kiváltására, de az eredményei a többi fém kiértékelése során sokat segíthetnek, ezért bevettük a szimulációba. A másik vizsgált fém az alumínium, földkéreg egyik leggyakoribb alkotóeleme, közel 10 %-ban van jelen. Amennyiben megfelelő eredményeket kapunk, az alumíniummal a továbbiakban mindenképp érdemes a motorgyártás kapcsán foglalkozni.

4.1 Szimuláció

A vizsgálatot egy az Infolytica (Motorsolve) nevű professzionális motortervező, fejlesztő és ellenőrző szoftverben végeztük. Ez a szoftver alkalmas az összes vizsgált motortípus elemzésére.

A vizsgált motor egy a Széchenyi István Egyetemen, a Járműipari Kutató Központban fejlesztett, külső forgórészes PMS motor. Azért ezt a motort választottuk, mert jelenleg is használjuk, vizsgáljuk, és az esetleges változtatásokat nem csak szimulációban tudjuk elemezni, hanem a jövőben a gyakorlatban is ki tudjuk próbálni.

A motor tulajdonságai:

$P_{névl}$	=	15 kW
$I_{fázis}$	=	66 A
$U_{táp}$	=	230 V
$n_{névl}$	=	2300 f/min

A szimuláció eredményeit a következő táblázat foglalja össze:

	réz	ezüst	alumínium
Nyomaték (Nm)	54	54	54
Bemeneti teljesítmény (kW)	17	17	17,3
Kimeneti teljesítmény (kW)	16,4	16,4	16,4
Hatásfok (%)	96,3	96,4	94,6
RMS Fesz. (V)	176	176	178
RMS Áram (A)	66	66	66
Összes veszteség (kW)	0,626	0,611	0,944

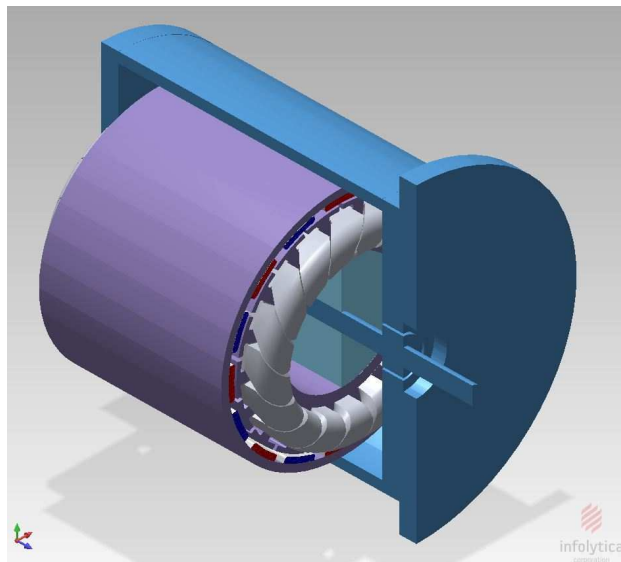
2. táblázat: Motorparaméterek változása réz, ezüst és alumínium alkalmazása esetén

Ahogy a táblázat is mutatja, a három fém tekercselésben történő alkalmazása esetén a hatásfokban kialakult sorrend nem meglepő, hiszen a fémek vezetőképessége alapján ez volt várható. Azonban a köztük levő különbség már igen. A réz és az ezüst esetén gyakorlatilag azonos, azonban alumíniumnál is „csak” 1,8%-al csökken a hatásfok. Ez a csökkenés

elfogadható kompromisszum, főleg, ha figyelembe vesszük a Földön fellelhető mennyiségeket és az árbeli különbséget.

Ezek az eredmények szimulációval számítottak, így validálást és további vizsgálatokat igényelnek.

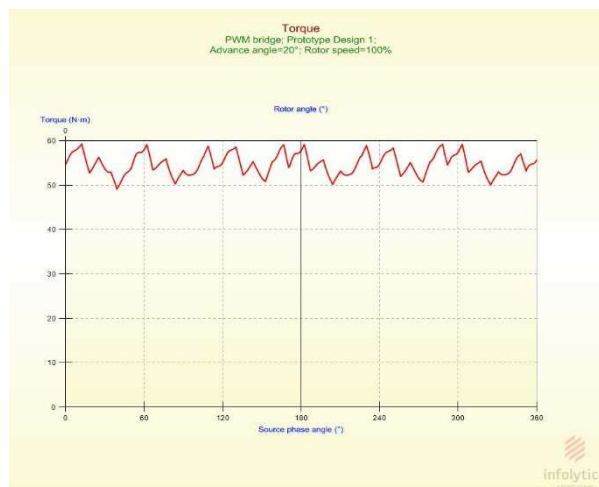
A szimulált eredmények elemzésekor felmerült még kettő hátrányos tényező az alumínium alkalmazása esetén. Az első egy technológiai kérdés. A következő ábrán láthatjuk a vizsgált motor tekercstervét



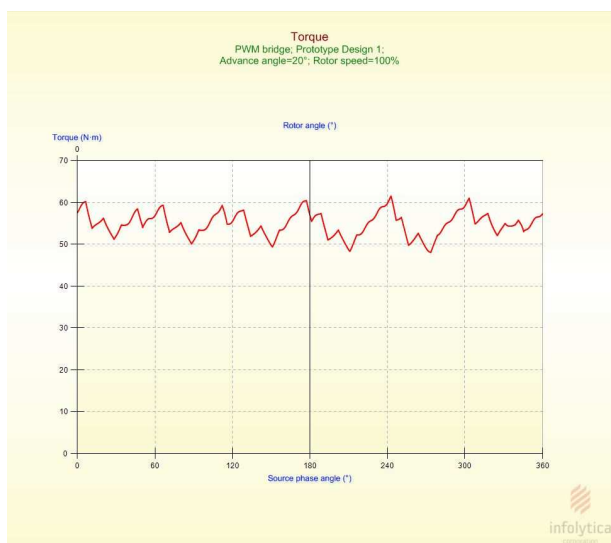
7. ábra: Tekercselési kép alumínium használata mellett

A tekercselés elkészítéséhez, a folyamat bonyolultsága miatt egy olyan szálra van szükség, ami rendkívül hajlékony és strapabíró. A vegytiszta alumínium sajnos nem ilyen. Meg kell tehát találni a megfelelő Al alapú ötvözetet, amelynek nincs jelentős hatása a hatásfokra és megfelelő mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik.

A második hátrányos tényező a nyomatéklüktetés amplitúdójának növekedése. A következő ábrákon láthatjuk a szimulált eredményeket, először réz, majd alumínium alkalmazása esetén:



8. ábra Nyomatéklüktetés réz alkalmazása esetén



9. ábra Nyomatéklüktetés alumínium alkalmazása esetén

A nyomatéklüktetés járműhajtás esetén hátrányos, a mértékét csökkenteni kell. A jelen esetben tapasztalt eltérés negatív hatásának eredménye további vizsgálatokat kíván.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben összefoglaltuk és kielemeztük a járműhajtásra alkalmas elektromos motorokat és tulajdonságaikat. Megállapítottuk, hogy – a jelenlegi építési trendekkel egyetértve – BLDC, PMS és aszinkron motorokat célszerű járműhajtásra alkalmazni. Ezután a kiválasztott típusokat a réztartalom figyelembe vételével tovább elemeztük. Egy szimuláció segítségével megállapítottuk, hogy az alumínium valószínűleg alkalmas lehet a fogyóban levő réz pótlására, de ehhez több technológiai jellegű problémát is meg kell oldani.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

1. „TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0012: Hibrid és elektromos járművek fejlesztését megalapozó kutatások –

A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

2. „A kutatás a TÁMOP-4.2.2.A/2-11/1-2012-0001 Nemzeti Kiválóság Program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.”

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Közlekedési rendszerbe integrált alternatív járműhajtások Pézsa Nikolett, dr. Ailer Piroska, Trencsényi Balázs, dr. Palkovics László Jövő járműve 2011. 1. szám 5-8 old.
- [2] R. Quadrielli, S. Peterson: The energy-climate challenge: Recent trends in CO2 emissions from fuel combustion, Energy Policy 35 (2007) pp5938-5952
- [3] K. Döhm, Future Mobility from a Fuels Perspective, 29. Internationales Wiener Motorensymposium 2008
- [4] U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, International Energy Outlook 2004, Table A2, “World Total Energy Consumption by Region & Fuel, Reference Case” (EIA, Washington, DC, 2004).
- [5] http://accentrope-sze.hu/tananyag/Elektromobilit%C3%A1s%20tananyag_5_2.pdf
- [6] Lőrincz Illés- Polák József - Villamos meghajtású kishaszon jármű hajtásláncának optimalizálása a hatótáv növelésének érdekében „IFFK 2012” Budapest, 2012. augusztus 29-31.
- [7] Szénásy István, Korszerű járműhajtásra alkalmazott állandó mágneses szinkron motorok fejlesztésének és irányításának aktuális problémái. pp. 1-39. MTA, Mobilitás és Környezet Konferencia, Bp, 2012. 01.23. (2012)
- [8] John E. Tilton, Gustavo Lagos, Assessing the long-run availability of copper Received 20 November 2006, Revised 6 March 2007, Accepted 11 April 2007, Available online 24 May 2007