

# Hosszirányú járműmodell fejlesztése elektromos járművek hatótáv becslésére

## Longitudinal vehicle model development for range estimation in electric vehicles

*NYERGES Ádám\*, Dr. ZÖLDY Máté*

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépjárműtechnológia Tanszék  
Magyarország, 1111 Budapest, Stoczek utca 6.

[www.gjt.bme.hu](http://www.gjt.bme.hu)

\* [adam.nyerges@gjt.bme.hu](mailto:adam.nyerges@gjt.bme.hu)

### Abstract

*One of the main properties of up-to-date electric vehicles is their range. The energy analysis of the vehicle and its powertrain allows range estimation by simulation. In this paper a basic longitudinal electric vehicle and powertrain model will be presented for range estimation. Besides, by an example the powertrain energetics will also be presented.*

**Keywords:** electric vehicles, range estimation, vehicle energy, modelling

### Kivonat

*A korszerű elektromos hajtású közúti járművek egyik legfontosabb fejlesztendő tulajdonsága a hatótávolság. A jármű és a hajtáslánc energetikai vizsgálata lehetővé teszi a hatótávolság egyszerű szimulációjával történő becslését. Jelen cikkben bemutatásra kerül egy egyszerű hatótáv becselő modell fejlesztése, amely segítségével, egy példán keresztül a hajtáslánc energetikai viszonyai megismerhetők.*

**Kulcsszavak:** elektromos járművek, hatótáv becslés, járműenergetika, modellezés

## 1. BEVEZETÉS

A közúti közlekedés története során az új, kedvezőbb tulajdonságokkal bíró műszaki megoldások keresése mindig is fontos volt. Napjainkban az akkumulátoros elektromos járművek újra elterjedőben vannak, elsősorban a lokálisan alacsony emissziója, az egyszerű felépítése, jó térkihasználása és a csendes üzeme miatt. Mindezek mellett az emissziós szabályozások is nagy mértékben elősegítik az elektromos gépjárművek terjedését [1].

A lokálisan alacsony emisszióval összefüggésben jelentős előnye még az elektromos járműveknél a hajtáslánc magas energetikai hatásfoka. A névleges hatásfoka lényegében minden fontos hajtáslánc elemnek 90% fölött van. Szintén nagy előny a hagyományos hajtásláncú járművekhez képest, hogy a mechanikai fékezés nagymértékben kiváltható villamos fékezéssel, azaz energia visszatáplálással az akkumulátorokba. A korszerű lítium-ion akkumulátorok töltése szintén igen magas hatásfokú, közel 99%-os [2].

Az elektromos hajtásláncok szabályozása lényegesen kisebb reakcióidővel rendelkezik mint a belsőégésű motorral szerelt járművéké. A hajtáslánc nyomaték szabályozása a villamos gép áramerősségének szabályozásával sokkal gyorsabb mint a belsőégésű motorok töltetcsere szabályozása. Mindezeknek köszönhetően a jármű menetdinamikai szabályozása is fejlettebb lehet elektromos járműveknél.

A járműben történő energiatárolás lényegesen nagyobb kihívás akkumulátorokban, mint tüzelőanyag tartályokban. Az elektromos járművek újbóli megjelenését az utóbbi évtizedben az akkumulátorok fejlődése tette lehetővé. Jelentősen növekedett a fajlagos energiasűrűségük (mind tömegre, mind térfogatra vonatkoztatva) és emellett az előállítási költségük is csökkenő tendenciát mutat. Ugyanakkor a hagyományos hajtásláncú járművekkel összehasonlítva az akkumulátorok fajlagos energiasűrűsége jelentősen kisebb, töltési ideje pedig jelentősen nagyobb. A töltési teljesítmény növelésével a kiszolgáló infrastruktúra kerül nagy

kihívás elé. Mindezen műszaki kihívások jelenleg azt eredményezik, hogy az elektromos járművek tömege lényegesen nagyobb, hatótávolságuk viszont kisebb, mint a belsőégésű motorral hajtott járműveké.

Az utóbbi években a trendek az elektromos járműhajtás gyors térhódítását mutatják, abszolút értékben viszont még csak kis számban vannak jelen a közutakon. A jövőbeni elterjedésüket sok, műszaki tudományokon kívül álló tényező is befolyásolja. A hagyományos járműhajtásnál megszokott szempontok figyelembe vételével az elektromos hajtásláncok vizsgálata viszont műszakilag fontos új tudományterület. Jelen cikkben egy hosszirányú járműmodell menetciklusban való vizsgálatának a segítségével bemutatásra kerül az elektromos hajtású járművek energetikája és hatótáv becslése.

## 2. ELEKTROMOS JÁRMŰVEK FELÉPÍTÉSE

Az elektromos járművek egyik fontos előnye a hagyományos hajtásláncú járművekkel szemben a konstrukció egyszerűsége. Ez nemcsak a részegységek kevesebb számát jelenti, hanem a kompaktságot és a könnyebb kialakítás valamint a jobb megbízhatóság lehetőségét is [3].

A korszerű elektromos járművek akkumulátora jellemzően a jármű hasa alatt helyezkedik el a két tengely között. Az akkumulátor nagy tömege ugyan rontja a menetdinamikai képességeit, viszont az alacsony súlypont jelentősen csökkenti a járműbólintó és dőlő mozgását. A két tengely között az akkumulátorok jól védve vannak sérülések ellen is.

A járművek hajtására leggyakrabban állandó mágnesű szinkronmotorokat alkalmaznak [4]. Ennek a működtetésére a teljesítményelektronika (inverter) az akkumulátor egyenfeszültségét váltakozó árammá alakítja. A villamos gép nyomatékának a szabályozása az áramerősség szabályozásával történik. A villamos gépek jellegzője négy móddal rendelkezik: előremenet-hátremenet, hajtás-visszatöltés [5].

A villamos gép tengelye és a hajtott kerekek között rendszerint egy egyfokozatú hajtómű teremti meg a kapcsolatot [6]. A hajtáslánc egy véghajtóművel, egy differenciálművel és a tengelyhajtásokkal zárul. Elektromos járműveknél jelenleg nincs egyértelmű előnye sem az elsőkerék-, sem a hátsókerék hajtásnak.

A hajtásláncban a teljesítményelektronika, a villamos gép és a hajtómű egy egységnek minősül. Ezen hajtóegység hatásfokát szokás egy jellegzővel is közelíteni, egyesítve a három részegység karakterisztikáit. A hajtóegység hűtése is közös szokott lenni.

## 3. ELEKTROMOS JÁRMŰVEK AKKUMULÁTOR KAPACITÁSA ÉS HATÓTÁVOLSÁGA

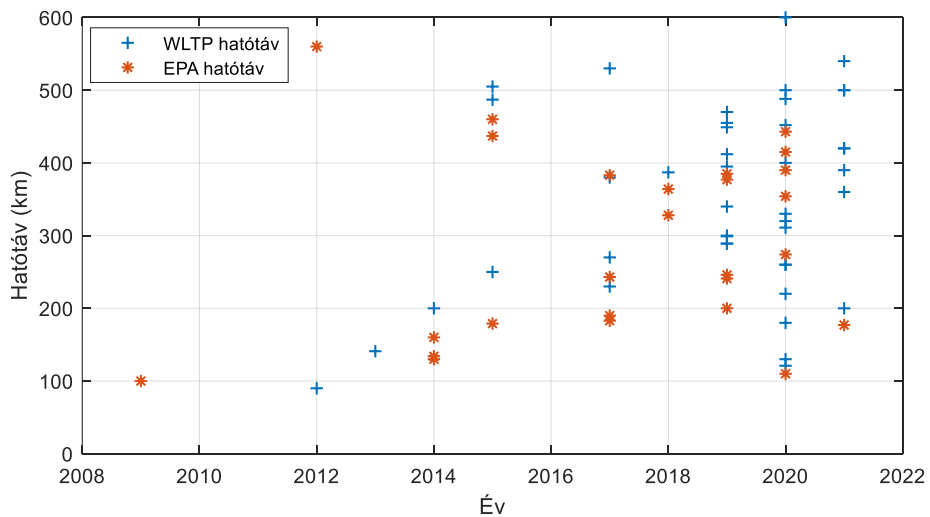
Az elektromos járművek hatótávolságát alapvetően két dolog határozza meg: az akkumulátor kapacitása és a járműhajtás teljesítményigénye. Ezek mellett jelentős hatása lehet még a járműben lévő fogyasztók teljesítményigényének és a külső környezeti körülményeknek is (például az akkumulátor kapacitás hőmérsékletfüggésének) [7].

Közvetlenül meghatározó még az akkumulátorok fajlagos energiasűrűsége, mivel ez korlátozza a járműben elhelyezhető akkumulátor méretét és tömegét. Ehhez hasonlóan szintén meghatározó még az alkalmazott akkumulátor technológia ára is, ami a jármű eladhatóságán keresztül korlátozza a beépíthető akkumulátor méretét.

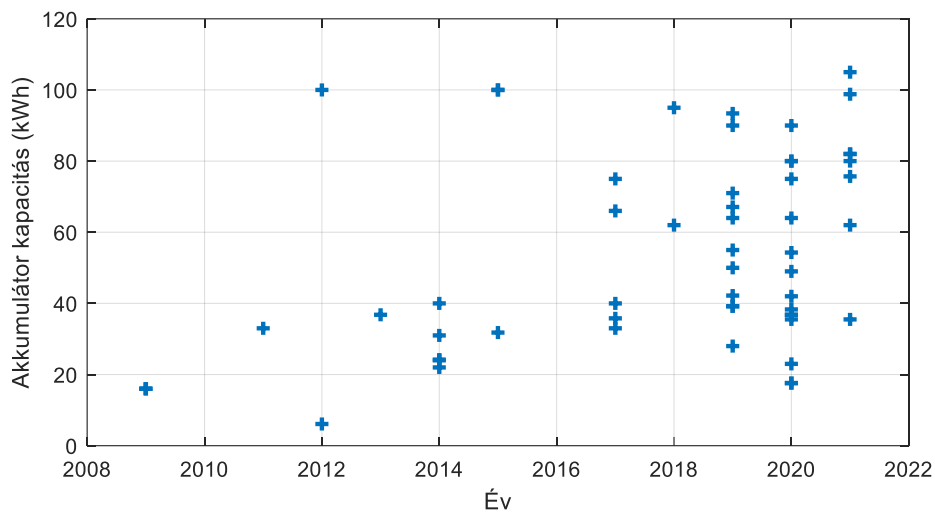
Az 1. ábrán az utóbbi években megjelent elektromos járművek hatótávolsága látható a megjelenési évük függvényében. A nagyobb hatótávolságú elektromos járművek 2014-2015 környékén kezdtek megjelenni. Azóta a fejlődés töretlen, jelenleg igény és árszínvonal szerint széles skálán mozog az eladásra kínált elektromos autók hatótávolsága.

A 2. ábrán ugyanezen járművek akkumulátor kapacitása látható ugyanúgy a megjelenési évük függvényében. A tendencia hasonló. Az akkumulátor kapacitás és a hatótávolság természetesen összefüggnek. Ez látható a 3. ábrán is: a két mennyiség között a kapcsolat lineáris.

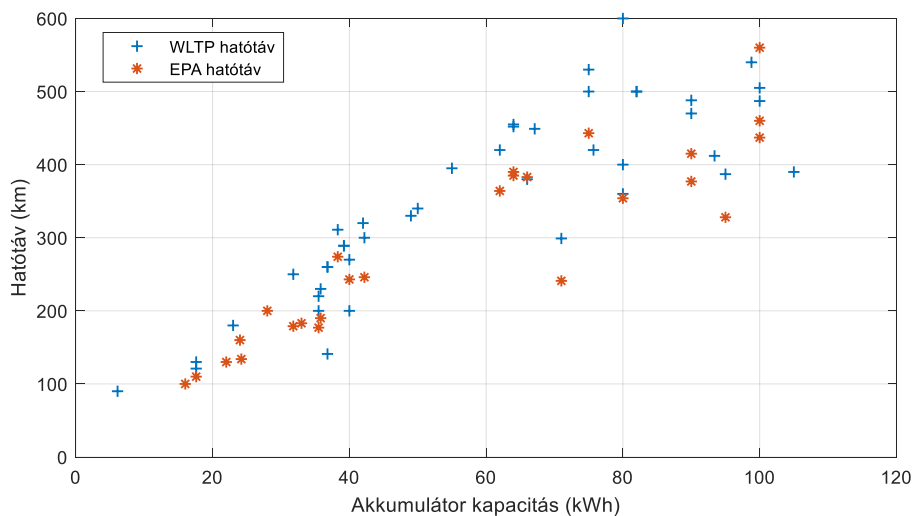
Az elektromos járművek hatótávolságát szabványos menetciklusokkal határozzák meg. Az Európai Unióban a WLTC (World harmonised Light vehicles Test Cycle) menetciklus hatályos. Az Amerikai Egyesült Államokban az EPA (United States Environmental Protection Agency) ciklus a szabványos, ez némiképp szigorúbb követelményeket támaszt a járművekkel szemben. Emiatt az EPA szerinti hatótáv rendre kisebb a WLTC hatótávnál, ahogyan ez a 3. ábrán is megfigyelhető.



1. ábra A gyártásban lévő elektromos hajtású járművek hatótávolságának fejlődése



2. ábra A gyártásban lévő elektromos hajtású járművek akkumulátor kapacitásának növekedése



3. ábra A gyártásban lévő elektromos hajtású járművek hatótávolsága az akkumulátor kapacitásának fejlődése

## 4. JÁRMŰMODELL FELÉPÍTÉSE

A modellezés célja a jármű menetciklus során a hasznos és veszteségteljesítmények meghatározása. Jármű szinten ezek kezelése egyszerű, hiszen hajtáslánctól függetlenül a szokásos összefüggéseket lehet alkalmazni.

Menet közben a járműre az útellenállás és a légellenállás hat. Az útellenállás felbontható gördülési ellenállásra és emelkedési ellenállásra. A gördülési ellenállás a következőképpen fejezhető ki:

$$F_g(t) = fmg \cos \alpha(t). \quad (1)$$

A légellenállás becslésének a szokásos módja pedig a következő:

$$F_l(t) = \frac{1}{2} \rho_l c_d A v^2(t). \quad (2)$$

Menetciklus szimuláció esetén magasságváltozás nincs definiálva, ezért az ellenállásereket a gördülési ellenállás és a légellenállás összegével lehet becsülni:

$$F_{ell}(t) = F_g(t) + F_l(t). \quad (3)$$

Amennyiben az emelkedési ellenállást is figyelembe kell venni, akkor az útellenállás a következőképpen fejezhető ki:

$$F_{út}(t) = mg(\sin \alpha(t) + f \cos \alpha(t)). \quad (4)$$

Tranziens ciklus esetén a jármű tehetetlenségét is figyelembe kell venni. Hajtás esetén a menetciklus sebességprofiljának teljesítéséhez szükséges vonóerő a tehetetlenségi erő és az ellenálláserekek összegéből adódik:

$$F_v(t) = \lambda ma(t) + F_{ell}(t). \quad (5)$$

Fékezés esetén az ellenálláserekek segítenek a jármű lassításában. Ilyenkor a gyorsulás negatív előjelű, így a szükséges fékerő az ellenálláserekek és a tehetetlenségi erő előjeles összegeként adódik:

$$F_f(t) = -\lambda ma(t) - F_{ell}(t). \quad (6)$$

A szimulációs modell bemenete a menetciklus sebességprofilja. Amennyiben szükséges, az útemelkedés szögének karakterisztikája is beállítható.

## 5. HAJTÁSLÁNC MODELL FELÉPÍTÉSE

A hajtáslánc modellben minden részegység esetén különböző módon kell figyelembe venni a hajtás és a visszatöltés esetét. Az adott részegység hatásfoka hajtás és visszatöltés esetén is mindig csökkenti a rajta áthaladó teljesítmény mértékét. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy hajtás-visszatöltés váltás esetén az adott részegység hatásfoka az összefüggésekben a reciprokára vált.

Az elektromos járművek hajtóműve általában egyfokozatú. A hajtómű összátétele általában két lépcsőben van megvalósítva. A szimulációs modell szempontjából ez egy összátételként kezelhető. Az összátétel és a kerék gördülőköri sugarának az ismeretében a villamos gép szögsebessége:

$$\omega_m(t) = v_j(t) \frac{i_{hl}}{r_g}. \quad (7)$$

A villamos gép leadott nyomatékának becsléséhez figyelembe kell venni a hajtómű mechanikai hatásfokát. Hajtás esetén a villamos gép leadott nyomatéka:

$$M_m(t) = F_v(t) \frac{r_g}{i_{hl} \eta_{mech}}. \quad (8)$$

Lassítás és visszatöltés esetén pedig:

$$M_m(t) = F_v(t) \frac{r_g \eta_{mech}}{i_{hl}}. \quad (9)$$

A hajtómű mechanikai hatásfoka sok tényezőtől függ mint például a konstrukció összetettsége, az alkalmazott kenőanyag tulajdonságai, a hőmérséklet, a csapágy- és szimeringsúrlódás vagy a hajtómű pillanatnyi üzemiállapota. Az (10) összefüggés a konstrukció összetettségét veszi csak figyelembe [8]:

$$\eta_{mech} = 0,98^a 0,97^b 0,99^c. \quad (10)$$

A villamos motor által leadott és a hajtómű által felvett teljesítmény a következőképp számolható:

$$P_m(t) = M_m(t)\omega_m(t). \quad (11)$$

A villamos gép hatásfoka nagy mértékben függ a villamos gép pillanatnyi üzemiállapotától, elsősorban a fordulatszámától és a terheléstől. A villamos gép által felvett teljesítmény hajtás esetén (12) összefüggésnek megfelelően becsülhető:

$$P_{m\_vill}(t) = M_m(t)\omega_m(t) \frac{1}{\eta_m(M_m\omega_m)}. \quad (12)$$

A villamos gép által felvett teljesítmény visszatöltés esetén pedig:

$$P_{m\_vill}(t) = M_m(t)\omega_m(t)\eta_m(M_m\omega_m). \quad (13)$$

Generátor üzemben a villamos gépek hatásfoka nagyon kis teljesítmény igény esetén drasztikusan lecsökken. Emellett, igen nagy fékezés esetén a villamos gép névleges teljesítménye kevés lehet a szükséges fékezési teljesítmény megvalósítására. Ezekben az esetekben szükséges a hagyományos, mechanikus fékrendszert alkalmazni. A gyakorlatban 10-15km/h alatt a fékezést már elsősorban a mechanikus fékrendszer végzi.

A korszerű teljesítményelektronikák nagyon jó hatásfokkal üzemelnek. Ahogyan a korábbi esetekben is, az inverter hatásfokának a teljesítményfolyamat csökkentenie kell. Így az inverter által felvett teljesítmény hajtás esetén:

$$P_{inv}(t) = P_{m\_vill} \frac{1}{\eta_{inv}}. \quad (14)$$

Az inverter által felvett teljesítmény visszatöltés esetén pedig:

$$P_{inv}(t) = P_{m\_vill}\eta_{inv}. \quad (15)$$

## 6. AKKUMULÁTOR MODELL

Mivel az akkumulátor az elektromos járművek tulajdonságait leginkább meghatározó és emellett a legdrágább alkatrésze is, ezért komplex felügyeleti rendszerekre van szükség a hatékony és biztonságos működésének a garantálásához. A korszerű lítium-ion akkumulátorok tulajdonságai jelentősen függenek a környezeti körülményektől. A kapacitás hőmérsékletfüggése mellett nagyon fontos tulajdonság az adott állapotban alkalmazható töltési teljesítmény. Az akkumulátorokat magas töltöttség esetén nem lehet nagy áramerősséggel tölteni. Ez egyben azt is jelenti, hogy feltöltött akkumulátor esetén a generátor üzemi visszatöltés sem lehet olyan jó hatásfokú mint alacsonyabb töltöttség esetén. Az akkumulátor pillanatnyi töltöttségét SOC-vel szokás jelölni (state of charge).

A cikkben bemutatásra kerülő modellben egy ideális akkumulátor modell került alkalmazásra, mely az inverter teljesítményfelvételét vagy teljesítményleadását teljes mértékben képes leadni vagy fölvenni. Ahogyan korábban is említésre került, a korszerű akkumulátorok töltése közel 100%-os hatásfokú [7], így az akkumulátor modelljében sem lett implementálva töltési hatásfok.

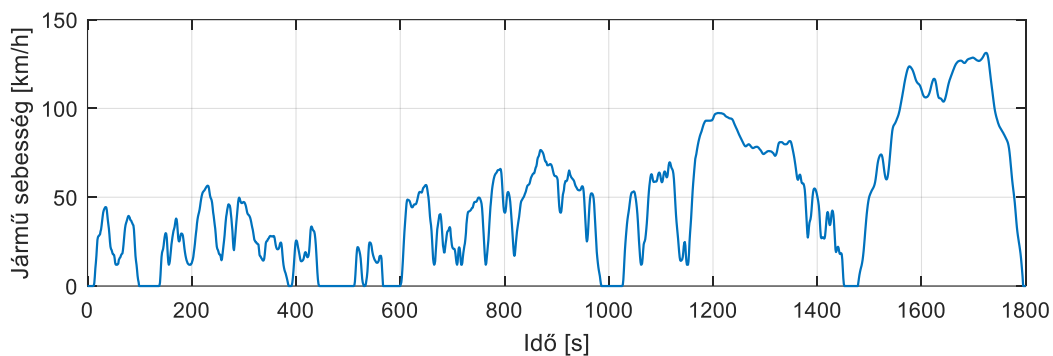
Az akkumulátor pillanatnyi töltöttsége a (16) összefüggésnek megfelelően közelíthető:

$$SOC = \frac{C_0 - \int_0^t P_{inv}(t)dt}{C_0}. \quad (16)$$

## 7. ELEKTROMOS JÁRMŰVEK HATÓTÁVOLSÁGA

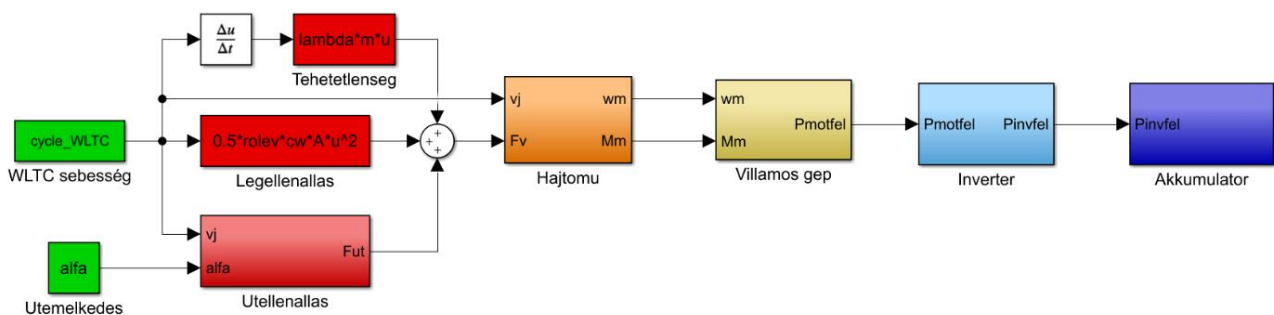
A korábbi fejezetekben bemutatott összefüggések segítségével megépíthető a hatótáv becslő modell. A vizsgálat bemenete egy sebességprofil, melyre kézenfekvő megoldás egy szabványos menetciklust választani. Jelen cikkben a korszerű WLTC került kiválasztásra [1]. A WLTC menetciklus elődje, az NEDC (New European Driving Cycle) menetciklus, elektromos járműveknél kevésbé használatos (és mellette korszerűtlennek is számít). A WLTC menetciklus sebességprofilja látható a 4. ábrán. A ciklus városi, országúti és autópálya üzemek megfelelő tartományokat is tartalmaz.

A jármű pillanatnyi hatótávolságának becslése alapvető feladata a jármű fedélzeti diagnosztikai rendszerének. Ezt az információt a járművezető számára is meg kell jeleníteni. A pillanatnyi hatótáv mellett a jármű pillanatnyi (vagy adott útszakaszra átlagolt) energiafogyasztását is meg szokás adni. Ennek a mértékegysége általában kWh/100km. Ezen kívül jellemző még az energiafogyasztást valamilyen tüzelőanyag fűtőértékével egyenértékű l/100km-es fogyasztásban is megadni. Ez utóbbi érték rendszerint jól demonstrálja a villamos hajtáslánc lényegesen jobb hatásfokú működését.



4. ábra A WLTC menetciklus sebesség-idő függvénye [1]

A szimulációs környezetben megépített modell látható az 5. ábrán. A modell „visszafelé számol”, azaz a sebességprofilból számolja vissza a teljesítményviszonyokat. Komplexebb járműmodellek rendszerint az akkumulátortól indulva számolnak, ebben az esetben viszont szabályzó beépítésére van szükség a megvalósítandó sebességprofil lekövetésére. Mivel a szabályzó mindig rendelkezik némi követési hibával, ezért a visszacsatolás nélküli, analitikus modell a hatótáv becslésére jelen esetben egyszerűbb megoldás.



5. ábra A hatótáv becslő modell felépítése

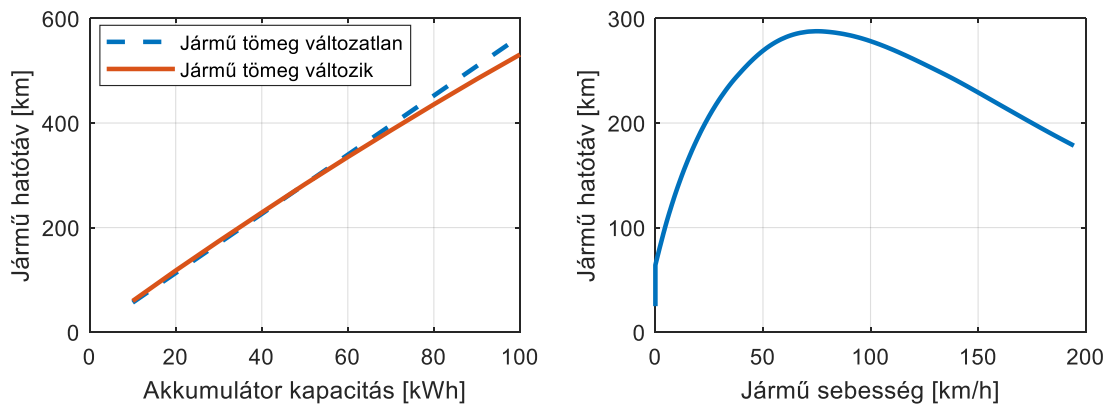
A modell verifikálására egy közepkategóriába tartozó elektromos jármű paraméterei lettek beállítva. A beállított paraméterek megtalálhatók a fejezet végén az 1. táblázatban. Alapesetben a járműben lévő akkumulátor 50kWh kapacitású. Ekkora akkumulátorral a jármű hatótávolsága 282km-ra adódik. Amennyiben nem történne fékezéses energia visszatáplálás, a jármű hatótávolsága 242km lenne. Azaz a visszatöltésnek köszönhetően a hatótáv 40km-rel, megközelítőleg 16%-kal nő.

Az akkumulátor kapacitásának a függvényében megvizsgálható a hatótáv változása. Ez látható a 6. ábra bal oldali diagramján. A változás a vártnak megfelelően közel lineáris. Az akkumulátor kapacitásának növelésével a jármű tömege is jelentősen változik, így pontosabb becsléshez ezt is figyelembe kell venni. A tömegváltozás figyelembe vételéhez a lítium-ion akkumulátorok átlagos sűrűsége lett felhasználva [3]. A diagram folytonos görbéje mutatja, hogy a jármű tömegnövekedése némiképp rontja a jármű hatótávolságát. Visszatöltés nélküli esetben az a hatótáv romlás jelentősebb lenne.

Hagyományos hajtásláncú járműveknél jellemző, hogy a jármű fogyasztása (és így a hatótávolsága is) országúti sebességnél a legalacsonyabb. Városi üzennél, kisebb terhelésen a motor kisebb hatásfokkal üzemel, így a fogyasztás romlik. Autópálya üzennél pedig az ellenállásérők jelentősebbek, ami szintén növeli a jármű fogyasztását.

Elektromos járműveknél tapasztalható, hogy városi üzemben a legjobb a jármű energiafogyasztása (és hatótávolsága), országúti és autópályaüzemben viszont jelentősen csökken a hatótávolság. Ez annak köszönhető, hogy városi üzemben a járműre ható ellenállásérők kicsik, a fékezéses visszatáplálás pedig jelentősen javítja a jármű energia gazdaságosságát (hagyományos hajtású járművek esetén a fékezés lényegében a jármű mozgási energiájának az „elpazarlása”).

A 6. ábra jobb oldali diagramja mutatja az elektromos jármű modell hatótávolságát a jármű sebességének a függvényében (azaz itt egyenletes sebességgel halad a jármű, nem menetciklusban). Kis sebességeknél a hatótáv romlik, mivel a villamos gép kis terhelésen egyre rosszabb hatásfokkal üzemel. 60-70km/h környékén vagy egy optimuma a hatótávnak, előlött pedig újra romlik a hatótáv a légellenállás növekedése miatt.



6. ábra A elektromos járművek hatótávolságának függése az akkumulátor kapacitástól és a jármű sebességétől

A modellben alkalmazott járműmodell paraméterei

1. táblázat

Akkumulátor kapacitás	C	-	kWh
Forgó tömeg tényező	$\lambda$	1,1	-
Gördülési ellenállási tényező	f	0,01	-
Hajtáslánc mechanikai hatásfoka	$\eta_{\text{mech}}$	0,97	-
Hajtómű áttétele	$i_{\text{hl}}$	10	-
Homlokfelület	A	2,5	m <sup>2</sup>
Teljesítményelektronika hatásfoka	$\eta_{\text{inv}}$	0,99	-
Jármű tömeg	m	1600	kg
Kerék gördülő sugár	$r_g$	0,3	m
Légellenállási együttható	$C_d$	0,25	-
Levegő sűrűsége (20C)	$\rho_{\text{lev}}$	1,188	kg/m <sup>3</sup>
Nehézségi gyorsulás	g	9,81	m/s <sup>2</sup>
Tapadási tényező	$\varphi$	0,97	-
Terhelt homlokfogaskerekek száma	a	2	-
Terhelt kúpogaskerekek száma	b	0	-
Terhelt tengelycsuklók száma	c	2	-
Útemelkedési szög	$\alpha$	0	°
Villamos gép maximális fordulatszáma	$n_{\text{max}}$	16000	1/min
Villamos gép maximális nyomatéka	$M_{\text{max}}$	250	Nm
Villamos gép maximális teljesítménye	$P_m$	100	kW

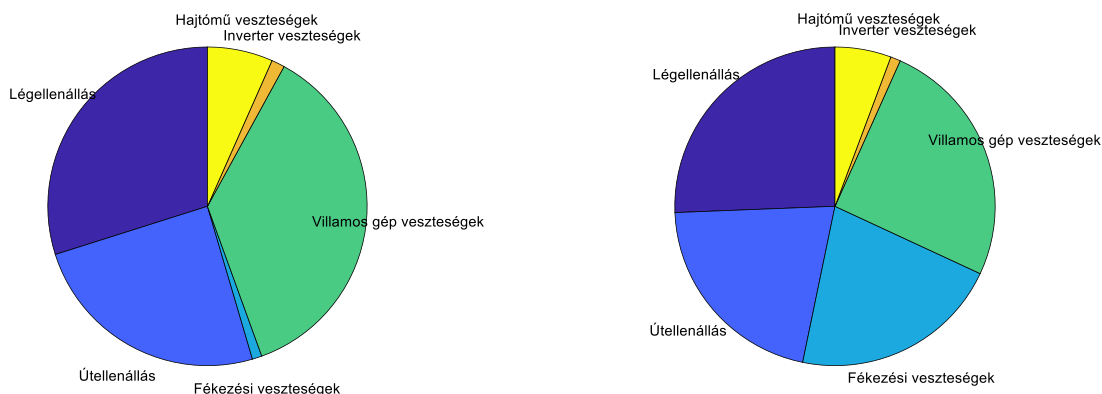
## 8. ELEKTROMOS JÁRMŰVEK ENERGETIKÁJA

Összefoglalva a korábbi fejezetben taglaltakat, az akkumulátorban tárolt kémiai energia az alábbi módokon kerül felhasználásra a járműben:

- teljesítményelektronika veszteségei,
- villamos gép veszteségei,
- hajtómű veszteségei,
- légellenállás legyőzésére fordított vonóerő,
- útellenállás legyőzésére fordított vonóerő,
- fékezési veszteségek (mechanikus fékrendszerrel),
- jármű fedélzeti fogyasztók energiafelhasználása (jelen cikkben nem kerül tárgyalásra).

A jármű gyorsítására (mozgási energiájának növelésére) fordított energia és az útemelkedés legyőzésére (jármű helyzeti energiájának növelésére) fordított energia összegezve egy menetciklusban nullára adódik, feltételezve hogy a menetciklus elején és végén a jármű áll és a helyzeti energiája sem változik. Ez azt jelenti, hogy az akkumulátorban tárolt energia a menetciklus közben ideiglenesen a jármű mozgási és helyzeti energiájaként kerül „tárolásra”, ami később a korábban felsorolt veszteségekké fog alakulni.

A 7. ábrán látható körcikk diagramokon a WLTC menetciklus szimuláció energiamérlegei láthatók. Az energiamérleget az egyes veszteségteljesítmények idő szerinti integrálásával lehet megkapni a menetciklus alatt. A diagramokon látható, hogy a legnagyobb „fogyasztók” a légellenállás, az útellenállás és a villamos gép veszteségei. Jelentős eltérést mutat a fékezési veszteségek aránya, ami regeneratív fékezéses esetben szinte elhanyagolható, visszatöltés nélkül viszont az egyik legjelentősebb veszteség lenne. Ez annak köszönhető, hogy a WLTP menetciklus során nincs olyan erőteljes fékezés, amit a villamos gép ne tudott volna megvalósítani. Mechanikus fékre csak 15km/h alatti sebességeknél van szükség a szimulációban.



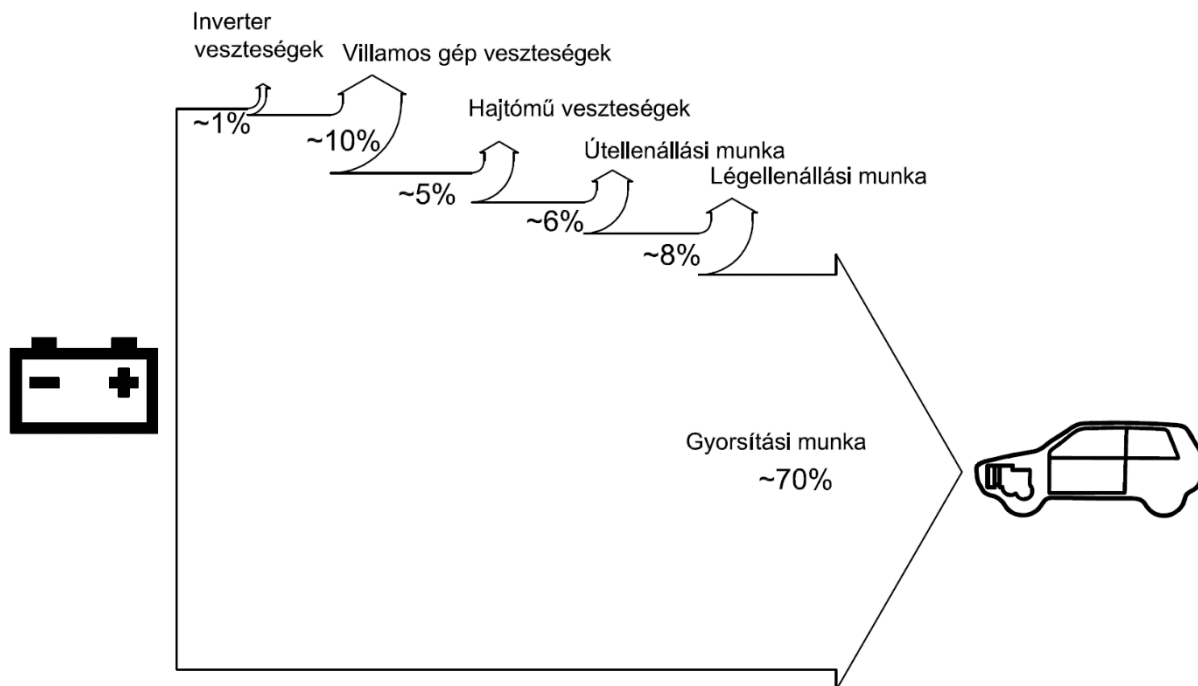
7. ábra A példaként alkalmazott elektromos jármű energiamérlege WLTC menetciklusban fékezési visszatöltéssel és visszatöltés nélkül

A körcikk diagram nem ad információt az egyes részarányok abszolút mennyiségéről, így célszerű megvizsgálni más szemszögből is a hajtáslánc energetikáját. A 8. a 9. és a 10. ábra ezt mutatja Sankey diagramok segítségével mértékhelyesen ábrázolva.

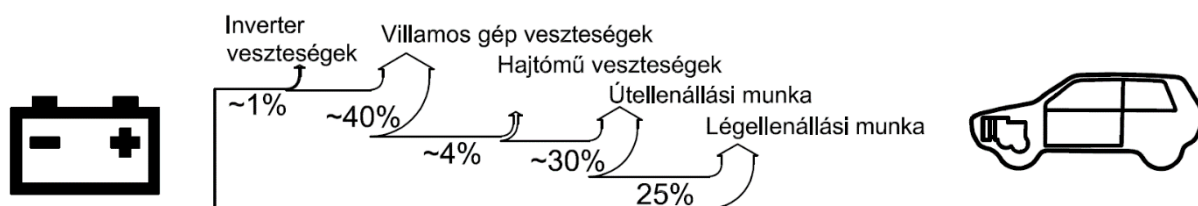
A 8. ábrán a jármű gyorsítása folyamata közben látható a teljesítményfolyamok elágazása. A gyorsítás 0-120km/h-ra történik egyenletes gyorsulással. Látható, hogy legnagyobb energiaigénnyel a jármű mozgási energiájának növelése rendelkezik. Bár eddig veszteségként volt definiálva, de hasznos munkának számít még a gördülési ellenállás és a légellenállás legyőzése is, hiszen ez alapfeltétele a jármű hajtásának (bár a csökkentésük természetesen jobb hatékonyságot eredményezne). Kevésbé hangsúlyos a villamos gép veszteségeinek leágazása. Viszont ez a kis mérték épp azt jelenti, hogy nagyobb terhelésen a villamos gép jó hatásfokkal üzemel (90% fölött). A hajtómű hatásfokát épp ellentétesen befolyásolja a nagy terhelés, ilyenkor nagyobb veszteséggel működik.

A 9. ábrán egyenletes, 120km/h-s sebességű haladás közben látható a jármű energiamérlege. A menetellenállások továbbra is jelentős veszteségek. A legnagyobb szembejövő változás a villamos gép veszteségeinek nagy mértékű növekedése, ami a részterheléses, alacsonyabb hatásfokú üzemnek köszönhető. A hajtómű veszteségei pedig épp a kis terhelés miatt, egyenletes haladásnál jelentősen lecsökkennek.



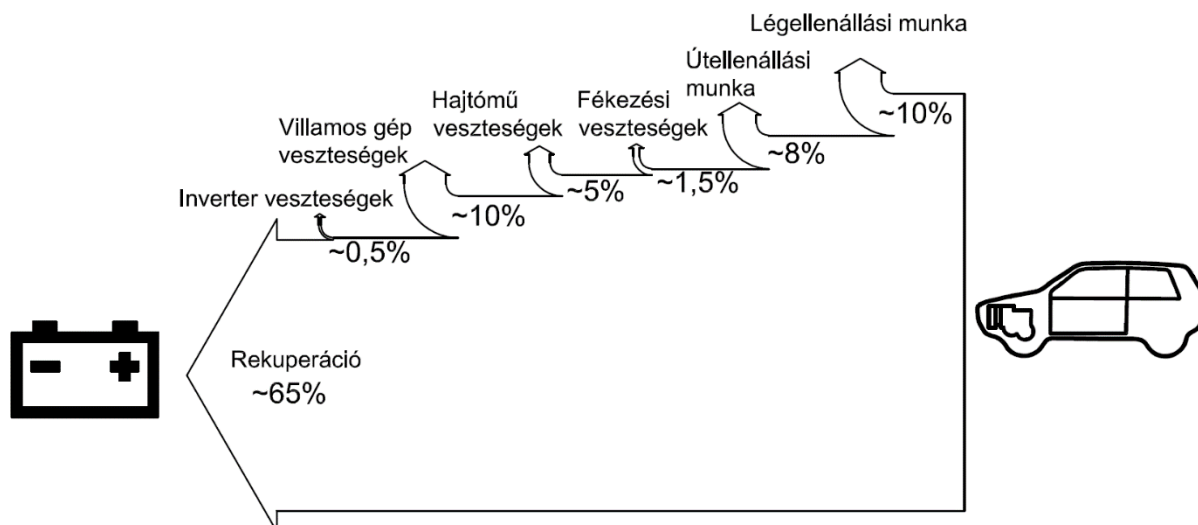


8. ábra A példaként alkalmazott elektromos jármű energiamérlege egyenletes gyorsítás közben



9. ábra A példaként alkalmazott elektromos jármű energiamérlege egyenletes haladás közben (120km/h)

Végül a 10. ábra a 120 km/h-ról történő egyenletes lassulás energiamérlegét ábrázolja. A lassulás azonos ütemű a 8. ábrán bemutatott gyorsulásával, azaz a fékezési teljesítmény nem haladja meg a villamos gép névleges teljesítményét. 15km/h alatt már csak mechanikus fékezés történik. A veszteségek aránya hasonló a gyorsulásnál lévőkhez: a villamos gép nagyobb terhelésen (generátorüzemben) újra jó hatásfokkal működik. A jármű mozgási energiájának megközelítőleg 65%-a visszanyerhető az akkumulátor töltésére. Ez az arány a valóságban természetesen az akkumulátor töltöttségétől nagyban függhet.



10. ábra A példaként alkalmazott elektromos jármű energiamérlege egyenletes lassítás közben

## 9. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elektromos hajtású járművek terjedése új műszaki kihívások elé állítja a konstruktőröket. A konstrukciós kialakításoknál még sok a kreatív lehetőség, a hagyományos hajtásláncokhoz szokott mérnökök sok esetben még csak ismerkednek az új hajtáslánc tulajdonságaival és követelményeivel.

Jelen kutatás célja egy átlagos paraméterekkel bíró elektromos hajtásláncú jármű energetikai és a hatótávolságával kapcsolatos tulajdonságainak a megismerése volt. A vizsgálat szimulációs környezetben történt. A cikk bemutatta egy egyszerű hosszirányú jármű és hajtáslánc modell megépítéséhez szükséges összefüggéseket valamint az akkumulátor kapacitás és a hatótáv összefüggését. A modell segítségével el lehet kezdeni a hajtáslánc elemeinek méretezését. Ezután részletesen bemutatásra került WLTP menetciklusban és különböző üzemállapotokban a jármű energetikája.

A bemutatott hosszirányú járműmodell megépítésének további célja új kutatási lehetőségek megalapozása. A modell úgy került megépítésre, hogy a részegységek modelljei tovább fejleszthetők legyenek részletesebb vizsgálatok céljából.

A cikkben bemutatott eredmények alapján a következő területeken lehet folytatni a kutatást:

- paraméterérzékenységi vizsgálat a fejlesztendő területek feltárására,
- villamos gép modell továbbfejlesztése, a villamos gép szerkezeti kialakításának hatása a hatásfok térképének jellegére,
- a villamos géphez hasonlóan a többi részegység működése is mélyebben megvizsgálandó,
- jármű gyorsulás vizsgálata,
- a bemutatott analitikus modell átalakítása járművezető-szabályozóval rendelkező modellé,
- szabványos menetciklusok összehasonlítása, valós forgalmi szituációkban rögzített menetciklusok definiálása,
- jármű energiafogyasztásának új, szemléletesebb mértékegységekben való kifejezése, összehasonlítás a hagyományos hajtásláncú járművek energetikájával.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Çeven, S., Albayrak, A., Bayır, R.: Real-time range estimation in electric vehicles using fuzzy logic classifier. *Computers and Electrical Engineering* 83, 2020
- [2] Frieske, B., Kloetzke, M., Mauser, F.: Trends in vehicle concept and key technology development for hybrid and battery electric vehicles. EVS27 Barcelona, Spain, November 17-20, 2013
- [3] Kádár, L., Varga, F., Kőfalusi, P.: Közúti járműrendszerek szerkezetana. BME MOGI 2014 [http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/kozuti\\_jarmurendszerek\\_szerkezetana/book.html](http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/kozuti_jarmurendszerek_szerkezetana/book.html)
- [4] Kubaisi, R., Gauterin, F., Giessler, M.: A Method to analyze driver influence on the energy consumption and power needs of electric vehicles. 978-1-4799-6075-0/14/\$31.00 ©2014 IEEE, 2014
- [5] Nyerges, Á., Zöldy, M.: Elektromos járművek hajtáslánc tervezésének járműdinamikai lépései. XXVIII. Nemzetközi Gépészeti Konferencia – OGÉT 2020
- [6] Pyrhönen, J., Jokinen, T., Hrabovcová, V.: Design of rotating electrical engines (Second edition). ISBN: 978-1-118-58157-5, 2014
- [7] S. P. Nikam, B. G. Fernandes (2014) Low cost electric drivetrain for conversion of ICE vehicle into an electric vehicle, 2014 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)
- [8] United Nations Global technical regulation No. 19; 25 August 2017