

# **Elektromos és belső égésű motoros autók energiafelhasználása, szén-dioxid-kibocsátása**

**MVM Partner Zrt. részére**

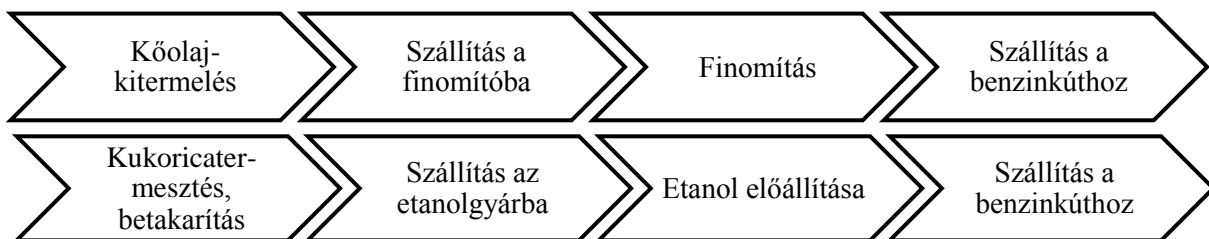
---

**Budapest, 2017. április**

A hagyományos, belső égésű motorral felszerelt autókat nehéz közvetlenül összehasonlítani az elektromos autókkal, ugyanis a különböző energiaformák közötti átalakítás eltérő módon zajlik a két megoldás esetében. Az összehasonlítás akkor végezhető el, ha megvizsgáljuk a két hajtási megoldás energiaellátási láncát: feltérképezzük, hogy az egyes lépésekben mekkora az energiaátalakítás hatásfoka, a külső energiabefektetés és a szén-dioxid-kibocsátás. A vizsgálatot két részre érdemes bontani: a kúttól a tankig szakasz (az angol szakirodalomban well-to-tank, WTT) a nyers energiahordozó kitermelésétől az üzemanyag (elektromos áram) autóig való eljuttatásáig öleli fel a folyamatot. A tanktól a kerékig (well-to-wheels, WTW) szakasz az autóba táplált folyékony üzemanyag vagy elektromos áram hasznosítását foglalja magában.

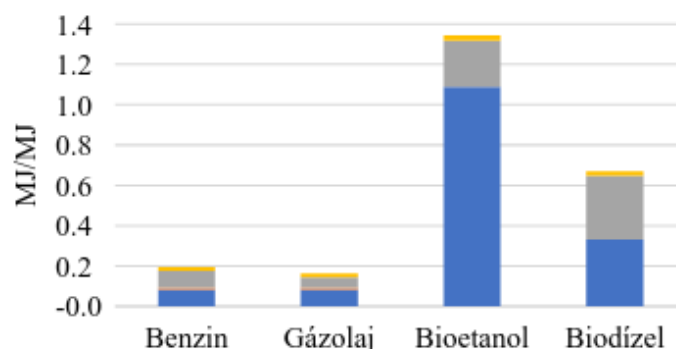
### 1. Fosszilis és bioüzemanyagok energiaigénye, kibocsátása

Az 1. ábrán látható a kúttól a tankig szakasz ellátási lánc fosszilis üzemanyagok, azaz benzin és gázolaj, valamint bioüzemanyagok, – a jelen esetben vizsgált – kukoricaalapú bioetanol esetén:



1. ábra: Fosszilis üzemanyagok ellátási lánc (fent), bioetanol ellátási lánc (lent).

Az átalakítási folyamatok a kész – az autó tankjáig eljuttatott – üzemanyag energiatartalmára fajlagosított mennyiségekkel szemléltethetők jól. Az alábbi, 2. ábrán látható, hogy 1 megajoule (MJ) energiatartalmú (vagy 1 liter) benzin előállításához 0,19 MJ (vagy 0,19 liter benzinnel egyenértékű) energiát kell befektetni ahhoz, hogy a kitermelendő kőolajból az autó tankjáig eljuttatott üzemanyag legyen.

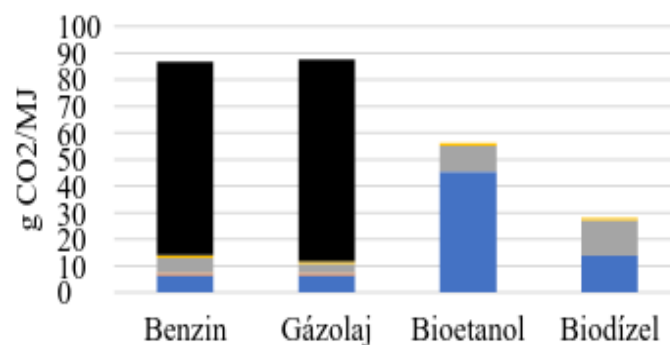


2. ábra: Üzemanyagok előállításának energiafelhasználása az energiatartalmukra vetítve. [1]

A fosszilis üzemanyagok közül a gázolaj előállításához kell befektetni a kevesebb energiát. Feldolgozási módja nagyban hasonlít a benzinéhez, a két üzemanyag közötti különbség a finomítás során alkalmazott eljárásokból adódik. A kisebb energiaigény ellenére 1 MJ

üzemanyag felhasználása során a gázolajból összességében több szén-dioxid keletkezik, mint a benzinből, ez az üzemanyag magasabb széntartalmának köszönhető (ld. 3. ábra). A szén-dioxid túlnyomó része mindkét fosszilis üzemanyag esetén az elégetés során szabadul fel. Az igen nagy távolságok ellenére a kőolaj szállítása a finomítóig kis részt képvisel az előállítás energiaigényében, ugyanis az itt gyakran alkalmazott tengeri úton és csővezetéken történő szállítás sokkal hatékonyabb, mint a vasúti, illetve a közúti.

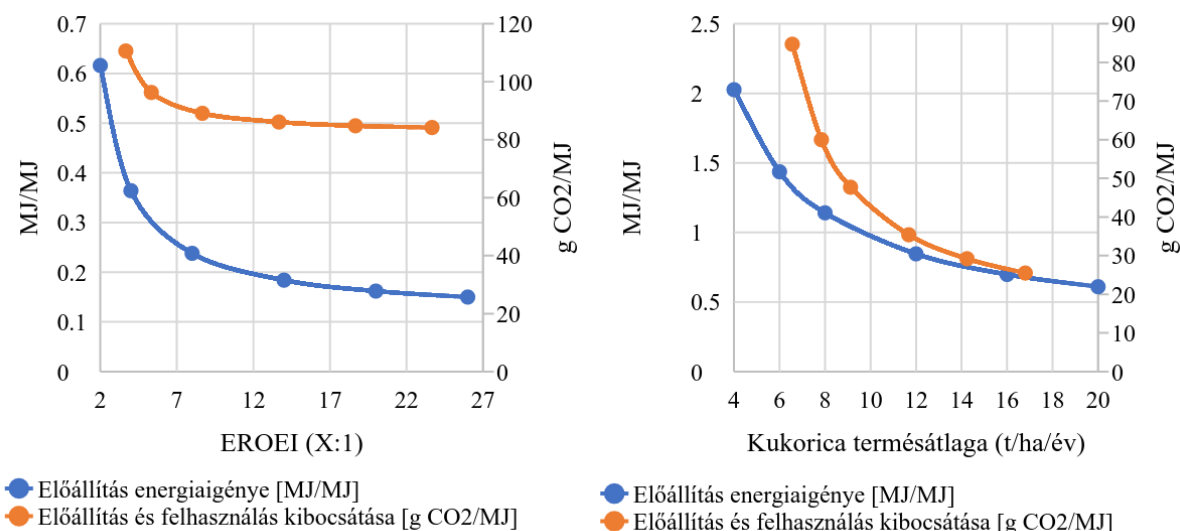
Kukoricaalapú bioetanol esetén a földművelés, és azon belül a műtrágya előállítása igényli a legtöbb energiát. A betakarított kukorica feldolgozása már kisebb energiaigényű, ez annak is köszönhető, hogy a folyamat során hasznos melléktermékek keletkeznek, amelyek kiváltják ezen termékek egyéb előállítási módjait, ezáltal csökken a bioetanolra számolt energiaigény. Sajnos Magyarországon a bioetanol nem képes pozitív energiamérleget produkálni – azaz több energiát igényel az előállítása, mint amennyit az elégetése során nyerünk –, ennek ellenére a felhasználása kevesebb szén-dioxid-kibocsátással jár, mint a fosszilis tüzelőanyagoké (a bioetanol elégetését karbonsemlegesnek tekintjük). A repce esetén már megvalósulhat a pozitív energiamérleg.



3. ábra: Üzemanyagok előállításának és felhasználásának szén-dioxid-kibocsátása az energiataralmukra vetítve

## 2. Fosszilis és bioüzemanyagok befolyásoló tényezői

A 4. ábrán látható, hogy az olajkitermelés EROEI (Energy Returned On Energy Invested – nettó energiataralom, a kinyert és a befektetett energia mennyiségének aránya) értékének változása hogyan befolyásolja az eredményeket. Az 5:1 EROEI érték azt jelenti, hogy 5 MJ energiataralmú olaj kitermeléséhez 1 MJ energiát kell befektetni. A közelmúltban felfedezett nem konvencionális olajmezők ehhez közelítő EROEI értékeket mutatnak, a jelenleg kitermelés alatt álló mezők pedig 12:1 körül vannak. [2] Az üzemanyag elégetése során kibocsátott szén-dioxid adja a teljes értéklánra vetített kibocsátás túlnyomó részét, így az összkibocsátás csak kis mértékben függ a kitermelés energiaigényétől. Emiatt a nem konvencionális olajmezők kitermelése (vagyis az átlagos EROEI érték csökkenése) nem fogja jelentősen növelni a benzinhez és más fosszilis üzemanyagokhoz köthető szén-dioxid-kibocsátást.



4. ábra: Az olajkitermelés változó EROEI értékének hatása a benzinre (bal), valamint a kukorica termésátlag-változásának hatása a bioetanolra (jobb).

Az etanolgyártás legnagyobb energiaigényű szakasza a kukorica termesztésére szolgáló föld művelése és a termés betakarítása, ezért fontos, hogy a termőterületen minél nagyobb legyen a kukorica hozam. A 4. ábrán látható, hogy a pozitív energiamérleg – azaz, ahol több az etanol elégetéséből nyert energia, mint amennyit befektetünk az előállításához – nagyjából 9,5 t/ha/év termésátlag felett valósul meg. Magyarországon országos szinten ennél lényegesen alacsonyabb a termésátlag, és az elmúlt évek növekedésének extrapolációjával sem várható, hogy a közeljövőben elérjük ezt az értéket. [3]. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy negatív energiamérleg esetén is lényegesen kevesebb szén-dioxid-kibocsátás köthető a bioetanolhoz, mint a fosszilis alapú üzemanyagokhoz, amennyiben az elégetését karbonsemlegesnek tekintjük.

### 3. A magyar villamos hálózat jellemzői

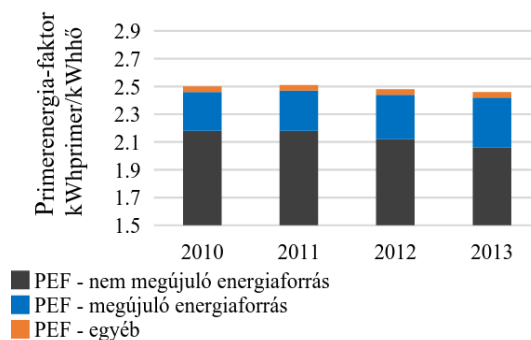
A hazai villamosenergia-igény ellátásában egyre nagyobb részt képvisel az olcsó import energia. A gáztüzelésű erőművek üzemeltetése az utóbbi években a piaci környezet változása miatt már nem tekinthető gazdaságosnak. Ennek ellenére a szabályozáshoz, illetve a lokális hőigények kielégítéséhez szükségesek a földgáztüzelésű erőművek, azonban ezek nem képesek megfelelő hatásfokú energiaátalakításra. Két nagy erőmű képes fenntartani helyzetét az előbb felsorolt tényezők mellett: a Paksi Atomerőmű és a Mátrai Erőmű, amelyek az itthon termelt energia több mint 70 százalékát adják. A fennmaradó mennyiséget főleg gázüzemű, illetve megújuló energiaforrásokot felhasználó erőművek termelik. Utóbbiak esetén fontos megemlíteni a gyorsan növekvő biomassza-felhasználást.



5. ábra: Villamosenergia felhasználás ellátási lánc

A bányától a villamos átviteli hálózatiig fellépő veszteségeket három szakaszban vizsgáltuk (ld. 5. ábra). Az első a tüzelőanyag-kitermelés, a szállítás és az előkészítés folyamata, amelyet a nagy mennyiségű import energiahordozók meghatározhatatlan eredete miatt a szakirodalomban fellelhető EROEI értékek segítségével célszerű közelíteni. A kitermelt tüzelőanyag energiataralmához viszonyítva átlagosan 4–5 százaléknál nagyobb befektetett energiára van szükség. Kivételt képez ezalól a biogáz előállítása, illetve a hulladéktüzelés szigorú előírásaival járó folyamatok energiaigénye. A második szakaszban meghatároztuk az erőművek önfogyasztását, majd az energiaátalakítás hatásfokát, amelyet importenergia esetén az Európai Unió tagállamainak primerenergia-faktor (PEF) értékének reciproka ad meg. „A számítási módszer figyelembe veszi a primerenergia-felhasználást a teljes életciklusra vetítve. Ebbe beletartozik a kitermelés, szállítás, energiaátalakítás, a tüzelőanyag-felhasználás, a kiadott energia, a folyamat fenntartásához szükséges ráfordítások, stb...” [4]

Ezáltal az importenergia előállításának, illetve az országhatárig történő elszállításának hatásfoka a 2013-as adatok alapján 40 százalékra becsülhető.



6. ábra: Villamosenergia-termelés PEF értéke az EU-28-ban 2010-2013. [4]

A magyarországi erőművek átlagos hatásfoka körülbelül 32 százalék. Ebből levonva az erőművek önfogyasztását és a termelési folyamat igényeit, a nettó, a szektoron kívül értékesített energia mennyisége évente mintegy 39 000 gigawattóra becsülhető. A villamos hálózat vesztesége 2012 és 2015 között a nettó értékesített energia csaknem 9 százaléka volt. Ez éves szinten megközelítőleg 3700 gigawattórának felel meg.

A Mátrai Erőmű károsanyag-kibocsátása 826 g CO<sub>2</sub>/kWh (K<sub>CO<sub>2</sub>,1</sub>), a magyar villamosenergia-termelő szektor fennmaradó részének kibocsátása pedig 467 g CO<sub>2</sub>/kWh

( $K_{CO_2,2}$ ). Figyelembe véve az atom- és megújuló energia széndioxid semlegességét, az ország területén megtermelt energiára vonatkoztatott károsanyag-kibocsátási tényező  $233 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$  ( $K_{CO_2,Mo.}$ ) A vizsgálat során a biomasszát szén-dioxid-semleges tüzelőanyagként tekintettük. A magyar erőműpark szén-dioxid-kibocsátása a megtermelt villamos energiára fajlagosítva a következő adatokkal bír:

$$K_{CO_2, Mo.} = 233 \text{ g CO}_2/\text{kWh} \cong 65 \text{ g CO}_2/\text{MJ}$$

Az importenergia kibocsátási tényezője az IEA adatai alapján, Európa esetén  $41,8 \text{ g CO}_2/\text{MJ}$ , amely  $150 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$ -t jelent. [5]

A Magyarországon felhasznált villamos energia fajlagos szén-dioxid-kibocsátása a hazai és az importenergia részarányának figyelembevételével – utóbbi 31,30 százalék volt 2015-ben – alább található:

$$K_{CO_2, \text{össz.}} = 207 \text{ g CO}_2/\text{kWh} \cong 57 \text{ g CO}_2/\text{MJ}$$

#### 4. Az elektromos autók jellemzői

A mai technológia egyelőre nem teszi lehetővé, hogy az elektromos autók akkumulátoraiban nagyobb távolságok megtételéhez elegendő energiát tároljunk, ez jelentősen korlátozza e járművek elterjedését. Az akkumulátorok fejlesztése mellett ehhez az infrastruktúra bővítése is elengedhetetlen lenne. Magyarországon a töltési nehézségektől csaknem mentes utazás feltételeit Budapesten teremtették meg először.

Modell:	Mitsubishi i-MieV	Nissan Leaf	BMW i3	Tesla Model S
Akkumulátor:	Lítium-ion	Lítium-ion	Lítium-ion	Lítium-ion
Kapacitás:	16 kWh	30 kWh	22 kWh	85 kWh
Fedélzeti töltő:	3,6 kW	3,6 kW	3,6 kW	11 kW
Inverter:	1x15 A	1x32 A	1x32 A	3x16 A

1. táblázat: Vizsgált elektromosautó-típusok felszereltsége.

forrás: Mitsubishi Corporation, Nissan Sales CEE Kft., Hearst Communications Inc., Tesla Motors

Az 7. ábrán látható, hogy különbségek adódnak a New European Driving Cycle (NEDC), illetve a U.S. Department of Energy (USDE) által közzétett információk szerint számított energiaigény és szén-dioxid-kibocsátás között. Ennek oka, hogy amíg az NEDC egy a gyártó által elvégzett, szabványosított tesztsorozat alapján vizsgálja az autóval megtehető távolság nagyságát, addig a USDE oldalán szereplő adatokat a fogyasztók, és nem hivatalos tesztek

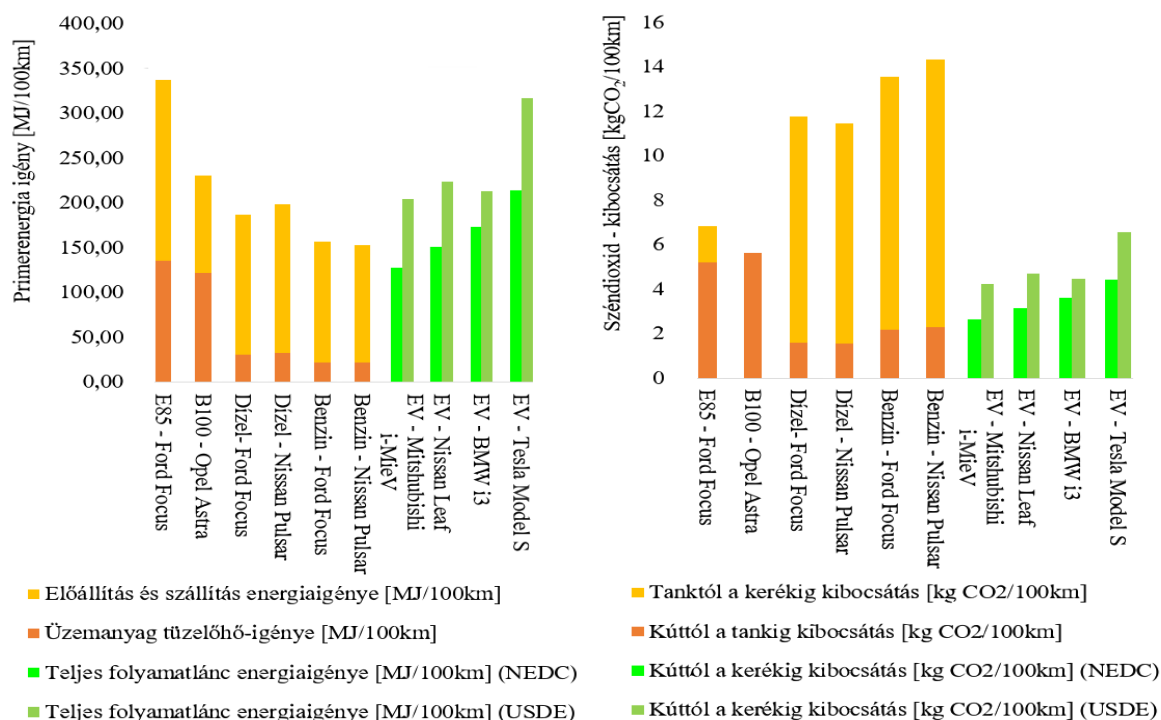
során mért értékek szerint tüntették fel. Ez azt eredményezi, hogy az autók hatótávolsága esetén a gyártói és a fogyasztói adatok között több tíz kilométeres eltérés is adódhat.

Forrás:	NEDC	USDE
Autó típusa:	Hatótáv:	Hatótáv:
Nissan Leaf	200 km	135 km
BMW i3	160 km	130 km
Tesla Model S	500 km	338 km
Mitsubishi i-MieV	160 km	100 km

2. táblázat: Hatótávolságok  
forrás: NEDC, USDE

Az eltérések nagymértékben befolyásolják a primerenergia-igény és a szén-dioxid-kibocsátás alakulását. A 7. ábrán jól megfigyelhetők ezek a különbségek. Ezek ellenére a következtetéseink nem változtak meg, hiszen a „kedvezőtlenebb eset” szerint sem teljesítenek kevésbé jól az elektromos autók, mint hagyományos társaik.

Magyarországon napjainkban az elektromos autók primerenergia-szükséglet szempontjából nem teljesítenek sokkal jobban, mint a fosszilis és bioüzemanyaggal üzemelő járművek, de fontos megemlíteni, hogy ez a különbség a típusok között növelhető a magyar erőműpark határfokának javításával és a szükséges infrastruktúra kialakításával.



7. ábra: 100 km-re fajlagosított primerenergia-igény (balra), valamint széndioxid-kibocsátás (jobbra)

Ennek ellenére az elektromos autók jelentősen környezetkímélőbbek. Az E85 keverékkel, illetve tiszta biodízzel működő járművek kibocsátás szempontjából hasonlóan alacsony értékekkel rendelkeznek, mint az elektromos társaik. Ennek ellenére az elterjedés lehetősége az első generációs bioüzemanyagok nagy termőföldigénye miatt csekély. Az elektromos autók elterjedése – főleg városi környezetben – megoldást jelenthet több problémára is, segíthet például a zajszennyezés jelentős csökkentésében és a levegőminőség javításában, például a szállópor, a nitrogén-oxidok és egyéb káros anyagok arányának mérséklésében. Azt is fontos figyelembe venni, hogy az elektromos autók használata során a felsorolt káros anyagok sem a városokban, hanem az azoktól távolabb eső erőművekben kerülnek a levegőbe. Így megelőzhető lenne a szmog kialakulása, illetve többek között az azzal járó egészségügyi problémák és a közlekedési korlátozások.

Szerzők: Katona Mihály, Radnai Róbert

#### **Felhasznált irodalom:**

- [1] KATONA MIHÁLY, RADNAI RÓBERT (2016): *Elektromos és belső égésű motorral rendelkező autók fajlagos energia-felhasználásának és széndioxid-kibocsátásának összehasonlítása a teljes folyamatláncra vetítve.*
- [2] CHARLES A. S., LAMBERT, JESSICA G. ÉS BALOGH, STEPHEN B. (2013): *EROEI of different fuels and the implications for society.* Energy Policy (Elsevier).
- [3] KÖZPONTI STATISZTIKAI HIVATAL (2016): *A kukorica termelése.* URL: [http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat\\_eves/i\\_omn013b.html](http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn013b.html). Hozzáférés ideje: 2017.02.01.
- [4] UWE R. FRITSCHÉ ET AL. (2015): *Development of the Primary Energy Factor of Electricity Generation in the EU28 from 2010-2013.*
- [5] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2015): *CO2 Emissions from fuel combustion Highlights.*