

A nukleáris energiatermelés szerepe az elektromos autók használatából származó szén-dioxid mennyiségének csökkentésében

Füri Péter¹, Mungunzaya Ganbat²

¹Energiatudományi Kutatóközpont

1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29 – 33.

²Óbudai Egyetem

1034 Budapest, Doberdó utca 6.

Az elektromos autók gyártásakor és a működésükhöz szükséges villamos energia előállításakor is jelentős mennyiségű szén-dioxid kerülhet a légkörbe. Számításaink alapján kijelenthető, hogy szénből vagy más fosszilis energiahordozókból előállított villamos árammal töltve az elektromos autókat, azok használatából származó szén-dioxid mennyisége jelentős. A közlekedés üvegházgáz- kibocsátása tehát akkor csökkenthető számottevően, ha nukleáris energiatermeléssel vagy megújuló energiaforrások felhasználásával állítunk elő villamos energiát az elektromos meghajtású járművek működtetéséhez.

A közlekedés által kibocsátott üvegházgázok mennyiségének számottevő mérsékléséhez több európai országban nem elegendő, ha a benzines vagy dízel autókat elektromos meghajtására cseréljük, azok töltéséhez biztosítani kell megfelelő, alacsony szén-dioxid-kibocsátású energiatermeléssel előállított villamos energiát is.

Bevezetés

Az ország útjain közlekedő járműveket vizsgálva ma még döntően a hagyományos, benzin- vagy dízelmotorral szerelt autókkal találkozunk. Azonban egyre több hibrid és elektromos autó jelenik meg az utakon. Ezek négy fő csoportra oszthatók, melyek: a Battery Electric Vehicle (BEV), a Plug in Hybride Electric Vehicle (PHEV), a hagyományos értelemben vett hibrid autók (ezek nem tölthetők külső áramforrásról), és az üzemanyagcellás elektromos autók (Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)) [1]. E tanulmány célja több különböző méretű és fogyasztású, tisztán elektromos (villamos), illetve benzines autó szén-dioxid-kibocsátásának összehasonlítása. A hibrid gépjárművek kibocsátását egy későbbi tanulmányban fogjuk vizsgálni.

Elektromos autón leggyakrabban az angolul battery electric vehicle-nek (BEV) nevezett autókat értjük. Ezek kizárólag villamos árammal működtethetőek. Fő előnyük, hogy nincs helyi légszennyező-kibocsátásuk, nem igényelnek kőolajtermékeket üzemanyagként, továbbá a belső égésű motorral szerelt gépjárműveknél sokkal halkabban működnek. Hátrányuk, hogy hatótávolságuk általában rövid, illetve az áruk is magasabb a benzines és dízel autókénál.

Az elektromos autók korlátozott hatótávolságát jól mutatja, hogy egy kisebb akkumulátorral (21,6 kWh) szerelt BMW i3 például 130 EPA km megtételére képes egy feltöltéssel [2]. Itt az EPA a hatótávot minősítő eljárást jelöli. A három fő ilyen eljárás az EPA (Environment Protection Agency), a WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure) és a NEDC (New European Driving Cycle)[3].

Tehát a mai elektromos autók többsége sajnos még nem alkalmas hosszabb, két távoli város közötti út megtételére,

csak ha út közben megállunk feltölteni az akkumulátort, mikor az lemerült.

Hozzá kell tennünk, hogy léteznek nagy kapacitású (kb. 100 kWh-s) akkumulátorral szerelt elektromos autók is, mint például a Tesla Model S [2]. Egy ilyen autó hatótávolsága már jelentős, hiszen 4-500 EPA km megtételére képes egyetlen töltéssel.

További hátránya az elektromos autóknak, hogy akkumulátoruk gyártásakor számottevő mennyiségű üvegházgáz kerülhet a légkörbe, illetve az akkumulátor töltéséhez szükséges nagy mennyiségű villamos energia előállításakor is jelentős lehet az üvegházgáz-kibocsátás.

Vitathatatlan tény azonban, hogy az elektromos autók elterjedése nagymértékben javítaná a levegőminőséget a nagy forgalmú helyeken, és ennek hatására csökkenhetne a légszennyezéshez köthető betegségek (pl. asztma, tüdőtágulat (emfizéma), krónikus obstruktív tüdőbetegség (COPD)) előfordulási valószínűsége a lakosság körében.

Városi használatra tehát még valószínűleg akkor is támogatni kell a belső égésű motorral hajtott gépjárművek elektromos meghajtására cserélését, amennyiben azok esetlegesen nagyobb teljes életciklusra vonatkozó szén-dioxid kibocsátással jellemezhetőek, mint a hasonló benzines vagy dízel modellek.

Ahhoz, hogy tisztán lássunk, érdemes megvizsgálni, hogy mennyi is az elektromos autók használathoz szükséges elektromos áram előállításakor a szén-dioxid-kibocsátás, valamint hogy hogyan viszonyul egymáshoz a kibocsátott üvegházgázok mennyisége egy hasonló benzines, illetve elektromos autó használata esetén.

Ennek vizsgálatához jelen tanulmány összehasonlítja három, különböző fogyasztású benzines és három: egy kicsi,

egy közepes és egy nagy elektromos autó használatából származó üvegházgáz-kibocsátást. Vizsgálataink legfontosabb kérdése, hogy hogyan befolyásolja az elektromos autók üzemeltetéséhez szükséges villamos energia előállításának módja a kibocsátott szén-dioxid mennyiségét.

A benzines és dízel autók üzemelése során kibocsátott szén-dioxid mennyisége

Az elemzés első lépéseként meg kell határozni, hogy mennyi szén-dioxid kerül a légkörbe egy hagyományos, benzin- vagy dízelüzemű autó használatakor.

A benzin- és dízelmotorral meghajtott gépjárművek fogyasztása (és ez által a szén-dioxid-kibocsátásuk is) erősen függ az adott modell paramétereitől (pl. a motor lökettérfogata, az jármű tömege, kora, stb...), illetve attól is, hogy hol és hogyan vezetjük. E tanulmányban három benzinmotorral hajtott járművet, egy 100 km-es úthosszra vetített 6 l-es, egy 8 l-es és egy 10 l-es fogyasztású modellt vizsgálunk meg. Ezt követően az gépkocsik használata során kibocsátott szén-dioxid mennyiségét hasonlítjuk össze egy kicsi, egy közepes és egy nagy elektromos autó (BEV) működéséhez szükséges elektromos energia előállításakor a légkörbe kerülő szén-dioxid mennyiségével.

A benzines és a dízel autók üvegházgáz-kibocsátása nem csak a lokális, az üzemanyag égetéséből származó kibocsátást jelenti, hiszen a kőolaj bányászatakor, finomításakor és szállításakor is kerül szén-dioxid a légkörbe. „Well to wheel”, azaz a kútból a kerékig (WtW) történő kibocsátást kell tehát vizsgálni.

A benzin WtW üvegházgáz- kibocsátása körülbelül 2778 g/liter [4]. Ebből az egységnyi megtett úthosszra eső kibocsátások az 1. táblázatban láthatóak.

1. táblázat Az egységnyi megtett úthosszra eső szén-dioxid kibocsátás egy 6 l-es, egy 8 l-es és egy 10 l-es fogyasztású benzines autó esetén

fogyasztás	szén-dioxid kibocsátás (g/km)
6 l/ 100 km	166,68
8 l/ 100 km	222,24
10 l/ 100 km	277,8

A felhasznált energiaforrás hatása a villamosenergia-termelés során kibocsátott szén-dioxid mennyiségére

Az energiatermelés módja jelentős mértékben befolyásolja az elektromos autók töltéséhez szükséges villamos energia előállításakor légkörbe kerülő szén-dioxid mennyiségét.

A fosszilis energiaforrások, mivel felhasználásuk egyszerű és általában olcsó, már az ipari forradalom óta kulcsszerepet játszanak a világgazdaság működésében. Ezen energiaforrások felhasználásakor azonban a legtöbb esetben jelentős mennyiségű szén-dioxid kerül a légkörbe.

Az egyes energiaforrások felhasználásával egységnyi villamos energia (1 kWh) előállításakor a légkörbe kerülő szén-dioxid mennyisége a 2. táblázatban látható.

2. táblázat Az egyes energiaforrások felhasználásával egységnyi villamos energia előállításakor a légkörbe kerülő szén-dioxid mennyisége [5]

Energiahordozó	g/kWh
szén	820
gáz	490
biomassza	230
nap	48
víz	24
szél	12
atomenergia	12

Mint az a 2. táblázatban látható, a szén és földgáz égetésével termelt villamos energia esetén jelentős az üvegházgáz-kibocsátás.

A szén-dioxid-kibocsátás szempontjából kedvezőnek mondható a megújuló energiaforrások (elsősorban a nap-, szél-, víz-, geotermikus energia) és a nukleáris energia felhasználása.

A megújuló energiaforrások gyakorlatilag kimeríthetetlenek, ipari léptékű felhasználásukat azonban több tényező nehezíti. A legfőbb probléma, hogy a nap- és a szélenergia az időben meglehetősen változó mértékben áll csak rendelkezésre. A vízenergia ipari mértékű kihasználása pedig nem minden országban lehetséges. Emellett számos kedvezőtlen környezeti hatása van a nagy duzzasztógátáknak.

Mivel a villamos energia ipari léptékben ma még gazdaságosan nem tárolható (kivéve a szivattyús-tározós erőműveket), az igények napi 24 órában történő ellátásához a megújuló energiaforrások mellett legtöbbször szükség van más energiaforrásokra is, például fosszilis erőművekre vagy atomerőművekre.

Az atomerőművek segítségével csekély mennyiségű üzemanyag felhasználásával nagy mennyiségű, olcsó villamos energia termelhető igen jó rendelkezésre állással. Mivel az atomerőművek üzemeltetésük során nem bocsátanak ki szén-dioxidot, ezen energiatermelési mód jelentheti az egyik legígéretesebb eszközt a klímaváltozás kedvezőtlen környezeti és gazdasági hatásai elleni törekvésekben a közlekedésben (is).

Az elektromos autók használatához szükséges elektromos energia termelésekor kibocsátott szén-dioxid mennyiségének becslése

Az elektromos autók használata során indirekt módon kibocsátott szén-dioxid mennyisége függ az adott gépjármű fogyasztásától (kWh/km) és az elektromos energia előállításának karbonintenzitásától (g/kWh)

A különböző méretű elektromos autók fogyasztása természetesen eltérő, mely a hatótáv és az akkumulátorban tárolt felhasználható energiamentiség hányadosaként számítható. A töltés során fellép azonban kb. 18% veszteség, mellyel szintén számolnunk kell [6].

3. táblázat Egy kicsi, egy közepes és egy nagy elektromos autó fogyasztása a töltés során fellépő veszteséggel és anélkül

méret	felhasználható kWh	EPA hatótáv (km)	fogyasztás (kWh/km)	fogyasztás veszteséggel (kWh/km)
kicsi	18,8	130	0,144615	0,170646
közepes	57	346	0,16474	0,194393
nagy	98,4	507	0,194083	0,229018

Az elemzés következő lépéseként kiszámítottuk a modellezett három villanyautó akkumulátorának töltéséből származó kibocsátást (g/km) amennyiben e járművet 100%-ban az adott energiaforrás felhasználásával termelt villamos árammal töltjük.

4. táblázat Egy kicsi, egy közepes és egy nagy elektromos autó használatából származó szén-dioxid kibocsátás, amennyiben az akkumulátor töltéséhez szükséges villamos energiát adott energiaforrás felhasználásával termeljük

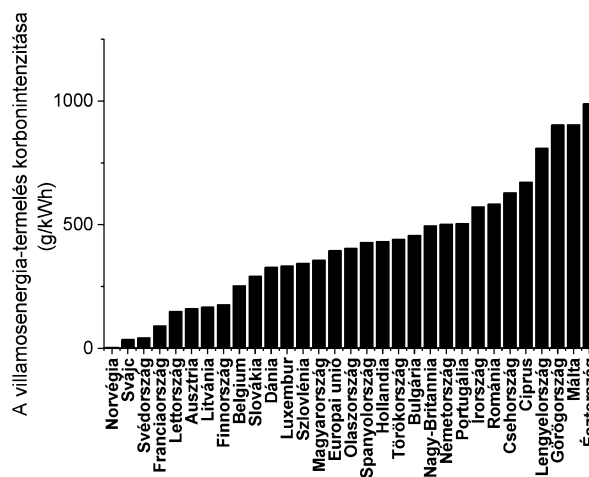
Energiahordozó	szén-dioxid kibocsátás (g/kWh)	kicsi (g/km)	közepes (g/km)	nagy (g/km)
szén	820	139,892	159,326	187,78
gáz	490	83,594	95,207	112,21
biomassza	230	39,238	44,689	52,67
nap	48	8,1888	9,3264	10,992
víz	24	4,0944	4,6632	5,496
szél	12	2,0472	2,3316	2,748
atomenergia	12	2,0472	2,3316	2,748

Szén felhasználásával termelt villamos energia esetén tehát egy 6 l-es fogyasztású benzines autót és egy közepes elektromos autót vizsgálva hasonló szén-dioxid kibocsátást kapunk.

Amennyiben megújuló vagy nukleáris energiaforrásokkal termelt villamos energiával töltjük a közepes elektromos autónkat, sokkal, akár hetvenegyszer kevesebb szén-dioxid kerül a légkörbe, mintha a 6l-es fogyasztású benzines autót használnánk.

A nap- és szélenergia nem mindig éppen akkor termelnek, mikor az autónkat tölteni szeretnénk. Nukleáris energiatermelés esetén akár a nap 24 órájában tölthetjük az elektromos autónkat. Az atomerőművek további előnye, hogy teljes életciklusukra vetített üvegházgáz-kibocsátásuk igen alacsony, ezért amennyiben az elektromos autónkat ilyen energiaforrás felhasználásával termelt árammal töltjük, összességében jóval kisebb lesz a szén-dioxid kibocsátás, mintha benzines vagy dízel autót használnánk.

Amennyiben nem az egy adott energiahordozóval termelt villamos energiát nézzük, hanem az egyes európai országok villamosenergia-termelésre vonatkozó karbonintenzitását vizsgáljuk, kijelenthető, hogy az 1 kWh villamos energia előállításakor kibocsátott szén-dioxid mennyisége erősen eltér az egyes európai országokban. Az egyes európai országok villamosenergia-termelésre vonatkozó karbonintenzitása az 1. ábrán látható



1. ábra: Az európai országok villamosenergia-termelésre vonatkozó karbonintenzitása [7] (forrás: European Environmental Agency)

Mint az az 1. ábrán jól látszik, legkisebb emisszióval Norvégia, Svájc, Svédország és Franciaország jellemezhető. Ezen országok közül Norvégia kivételével mindenhol jelentős az atomenergia részaránya az energiamixben. Fontos azonban kijelenteni, hogy Norvégia rendkívül jó adottságokkal rendelkezik a vízenergia terén. A legtöbb ország (mint például Magyarország) azonban nem hagyatkozhat ilyen mértékben a vízenergiára.

Az adott ország villamosenergia-termelésre vonatkoztatott karbonintenzitásából és az elektromos autók fogyasztásából (kWh/km) kiszámítható az egységnyi megtett út során kibocsátott szén-dioxid mennyisége. Ezek az értékek az 5. táblázatban láthatóak egy kicsi, egy közepes és egy nagy elektromos autóra.

Mint azt az 5. táblázatban láthatjuk, az elektromos autók használata esetén az európai országok nagy részében kevesebb szén-dioxid kerül a légkörbe, mint a hasonló benzines autó használatakor. Azokban az országokban, ahol az energiatermelést döntően fosszilis energiahordozók (főleg szén) égetéséből fedezik, olyan nagy az elektromos energia termelésének karbonintenzitása, hogy az elektromos autók töltéséhez szükséges elektromos energia előállítása során hasonló mennyiségű, vagy akár több szén-dioxid kerül a légkörbe, mint a hasonló benzines autók használatakor.

Fontos emellett megjegyezni, hogy az elektromos autók akkumulátorának gyártása során sajnos általában igen sok szén-dioxid kerül a légkörbe. A teljes életciklust vizsgálva tehát csak akkor „klímabarátok” az elektromos autók, ha alacsony karbonintenzitású energiaforrással, tehát nukleáris energiatermeléssel vagy megújuló energiaforrások felhasználásával termeljük meg a működésükhöz szükséges elektromos energiát.

Amennyiben csökkenteni szeretnénk a közlekedésből származó szén-dioxid kibocsátását, számos országban nem elegendő csupán elektromos meghajtásra cserélni a belső égésű motorral szerelt járműveket. Jelentősen csökkenteni kellene az egységnyi megtermelt villamos energiára vonatkozó üvegházgáz-kibocsátást is. E cél eléréséhez igen hatékony segítséget nyújthat a szénnel és más fosszilis energiahordozókkal működtetett erőművek atomerőművekkel való kiváltása.

5. táblázat Egy kicsi, egy közepes és egy nagy elektromos autó használatából származó szén-dioxid kibocsátás, amennyiben a villamos energiát adott ország karbonintenzitásával termeljük

	kicsi (g/km)	közepes (g/km)	nagy (g/km)		kicsi (g/km)	közepes (g/km)	nagy (g/km)
Norvégia	0,774917	0,882772	1,039944	Spanyolország	73,31181	83,51548	98,38493
Svájc	6,297135	7,173582	8,450796	Hollandia	73,86267	84,14301	99,12418
Svédország	7,440602	8,476199	9,985337	Törökország	75,26454	85,74001	101,0055
Franciaország	15,76786	17,96246	21,16057	Bulgária	78,12403	88,99748	104,843
Lettország	25,62654	29,1933	34,39099	Nagy-Britannia	84,68481	96,4714	113,6476
Ausztria	27,50123	31,3289	36,90683	Németország	85,90279	97,8589	115,2821
Litvánia	28,61785	32,60093	38,40534	Portugália	86,29879	98,31002	115,8135
Finnország	30,33865	34,56124	40,71467	Írország	97,79204	111,4029	131,2376
Belgium	43,27529	49,29843	58,07573	Románia	99,67773	113,5511	133,7682
Szlovákia	49,91126	56,85801	66,98124	Csehország	107,4925	122,4536	144,2557
Dánia	56,11341	63,92338	75,30457	Ciprus	114,8799	130,8691	154,1695
Luxemburg	56,99101	64,92313	76,48231	Lengyelország	138,2898	157,5372	185,5858
Szlovénia	58,80428	66,98878	78,91574	Görögország	154,2888	175,763	207,0566
Magyarország	60,97157	69,4577	81,82424	Málta	154,4396	175,9348	207,259
Európai Unió	67,58591	76,99265	90,70074	Észtország	168,8881	192,3942	226,6489
Olaszország	69,04977	78,66024	92,66524				

Összefoglalás

A belső égésű, benzines vagy dízel motorral szerelt autók működése során jelentős a szén-dioxid kibocsátás. Az elektromos autók számos előnnyel rendelkeznek a belső égésű motorral hajtott gépjárművekhez képest [8], például lokális üvegházgáz kibocsátásuk zéró, ám az akkumulátor gyártásakor általában nagy mennyiségű üvegházgáz kerül a légkörbe. Egy 6 l/100 km-es, egy 8 l/100 km-es és egy 10 l/100 km-es fogyasztású benzines autó „well to wheel” szén-dioxid kibocsátása körülbelül 166, 222 és 277 g/km. Az elektromos autók működéséhez szükséges elektromos energia előállításakor kibocsátott szén-dioxid mennyisége természetesen erősen függ az alkalmazott energiaforrástól és technológiától. Egy közepes elektromos autó használata során kb. 159 g/km a szén-dioxid-kibocsátás, amennyiben szén, 95 g/km ha földgázt, de csak 9,32 g/km, ha napenergiát és mindössze 2,3 g/km amennyiben nukleáris energiatermelést használunk a működéshez szükséges energia előállításakor.

Ezen eredmények alapján kijelenthető, hogy amennyiben a benzines és dízel autók elektromosra cserélésével csökkenteni szeretnénk a járművek használatából származó üvegházgázok kibocsátását, az elektromos autók számára klímabarát, alacsony üvegházgáz-kibocsátású áramtermeléssel kell biztosítani az akkumulátorok töltéséhez szükséges villamos energiát.

A jövő elektromos járművek dominálta közlekedésének villamosenergia-ellátásában kulcskérdés kell, hogy legyen a klímaváltozás kedvezőtlen hatásainak mérséklése is. Ennek érdekében feltétlenül szükséges a közlekedésben felhasznált villamosenergia termelése karbonintenzitásának csökkentése a nukleáris és a megújuló energiaforrások terjedésének elősegítésével. Fontos továbbá, hogy minél kisebb fogyasztású, és lehetőleg kis kapacitású akkumulátorral szerelt elektromos járművekre cseréljük a nagy lökettérfogató benzin- vagy dízelmotorral hajtott autókat.

Irodalomjegyzék

- [1] <https://villanyautosok.hu/elektromos-auto/>
- [2] <https://villanyautosok.hu/2017/08/31/az-elektromos-autok-akkumulatoranak-valos-kapacitasa/>
- [3] <https://www.mycarforum.com/forums/topic/2718325-electric-car-rangewhat-is-wltp-nedc-epa-jc08-catc/>
- [4] Lindsay Wilson: *Shades of green. Electric cars carbon emissions around the globe. Shrink that footprint* (2013)
- [5] "IPCC Working Group III – Mitigation of Climate Change, Annex III: Technology - specific cost and performance parameters - Table A.III.2 (Emissions of selected electricity supply technologies (gCO₂e/kWh))" (PDF). IPCC. 2014. p. 1335. Retrieved 2018-12-14.
- [6] <https://teslamotorsclub.com/tmc/threads/home-charging-efficiency.73181/>
- [7] https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/co2-electricity-g-per-kwh/co2-per-electricity-kwh-fig-1_2010_qa.xls
- [8] Rachael Nealer, David Reichmuth, Don Anair: *Cleaner cars from cradle to grave. How Electric Cars Beat Gasoline Cars on Lifetime. Union of concerned scientists Global Warming Emissions* (2015)