

Klímasemleges energiatermelés – Kilátások Magyarországon 2024-ben Climate-Neutral Energy Production - Prospects in Hungary in 2024

GÁCSI DÁNIEL¹, T. KISS JUDIT²

¹Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék. Magyarország.
gacsidaniel@gmail.com (levelező szerző)

²Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék. Magyarország.
tkiss@eng.unideb.hu

Absztrakt. Bolygónk klímájának megóvása érdekében fontos, hogy jelentősen csökkenjen az emberiség szén-dioxid-kibocsátása. Az energiaszektor az egyik legszennyezőbb iparág, viszont az elmúlt 20 évben a megújuló energiaforrások gyorsan növekvő ütemben való terjedése jelentősen hozzájárulhat a szén-dioxid-kibocsátás csökkenéséhez. A tanulmányban megvizsgálásra került, hogy Magyarországon milyen energiaforrások felhasználásával állítanak elő villamosenergiát, továbbá hogyan alakult az elmúlt években a megújuló energia aránya a szennyezőbb energiatermelési módokhoz képest. Erős negatív exponenciális kapcsolatot volt feltárható a megújuló energia részarány és az energia szektor szén-dioxid-kibocsátása között, ami alapján az energiaszektor szén-dioxid-kibocsátása jelentős mértékben csökkenthető a megújuló részarány növelésével. Előrejelzésre került a megújuló részarányra a múltbeli adatok és a Nemzeti Energia- és Klímaterv 2023-as felülvizsgált állapota alapján, valamint lineáris előrejelzés készült az energia szektor kibocsátására nézve. Az adatsorok között erős exponenciális kapcsolat áll fent. A tanulmányban vizsgált mindkét modell erős magyarázó erővel bírt, viszont egyik modell sem támasztja alá a klímasemleges energiatermelés lehetőségét 2030-ra.

Abstract. In order to protect our planet's climate, it is important to reduce humanity's carbon dioxide emissions significantly. The energy sector is one of the most polluting industries, but the rapid spread of renewable energy sources over the past 20 years can significantly contribute to the reduction of carbon dioxide emissions. The study examined which energy sources are used to produce electricity in Hungary, and how the proportion of renewable energy has developed in recent years compared to more polluting energy production methods. There is a strong negative exponential relationship between the share of renewable energy and the carbon dioxide emissions of the energy sector, based on which the carbon dioxide emissions of the energy sector can be significantly reduced by increasing the share of renewable energy. A forecast was made for the renewable share based on past data and the revised state of the National Energy and Climate Plan in 2023, and a linear forecast was made for the energy sector's emissions. There is a strong exponential relationship between the data series. Both models examined in the study had strong explanatory power, but neither model supports the possibility of climate-neutral energy production by 2030.

Kulcsszavak: energiaszektor, megújuló energia, üvegházhatású gáz kibocsátás

Keywords: Energy Sector, Renewable Energy, Greenhouse Gas Emission

Bevezetés

Korunk egyik legfontosabb kihívása a környezetünk és klímánk védelme, hogy a bolygónk atmoszférája és bioszférája minél tovább megmaradjon az emberiség számára a jelenleg ismert formájában. A légkörben halmozódó üvegházhatású gázok olyan légköri gázok, amelyek részben elnyelik és visszasugározzák a Föld felszínéről érkező infravörös sugárzást. Ez a jelenség hozzájárul az üvegházhatáshoz, amely a Földön jelenleg is tapasztalható hőmérsékletet okozza, azonban túlzott mértékben globális felmelegedéshez vezethet. Az üvegházhatású gázok közé tartozik a szén-dioxid (CO₂), a metán (CH₄), a dinitrogén-oxid (N₂O), a vízgőz, a troposzférikus ózon, valamint kisebb koncentrációban jelenlévő gázok, mint például a fluorozott szénhidrogének. Ezek a gázok különböző mértékben képesek hőt megkötni, ezért a szén-dioxidéval megfelelő egyenértékre szokták átszámolni. [1]

A világ CO₂ kibocsátása 1940-ben még csupán 4,86 Gt volt, ez a mennyiség az iparosodás és a folyamatosan növekvő fogyasztás hatására, exponenciálisan növekvő pályán 2023-ra körülbelül 37,55 Gt lett. [2] A világ üvegházhatású gáz kibocsátásának 27 %-áért az energiaszektor felelős. [3]

Az ENSZ 2015 szeptemberében a New York-i fenntartható fejlődési csúcstalálkozóján elfogadta a Fenntartható Fejlődési Célokat (Sustainable Development Goals, SDG), melyek egy olyan keretrendszert alkotnak, ahol az egyes tagországok kötelezettséget vállalnak, hogy bizonyos környezeti, társadalmi és gazdasági célokat milyen ütemben tudnak elérni. A keretrendszer 17 fő célt és 169 alcélt tartalmaz. Az SDG-k-közül a kutatás a 7. cél, a Megfizethető és tiszta energia (Affordable and Clean Energy), azon belül a 7.2 alpont, Increase Global Percentage of Renewable Energy-hez kapcsolódik. Az alpont azt mondja ki, hogy 2030-ra lényegesen növelni kell a megújuló energia részarányt a globális energiamixben. [4]

Magyarország célkitűzése, hogy 2030-ra 50 %-kal csökkenjen a szén-dioxid-egyenérték gáz kibocsátása 1990-hez képest, majd 2050-re elérje a klímasemlegességet, azaz ugyanannyi üvegházhatású gázt kös meg, mint amennyit kibocsát. Ezen célok eléréséhez Magyarország az egyes szektorokra külön-külön határoz meg célokat. Az ország energiaszektorra vonatkozó célkitűzéseit a Nemzeti Energia- és Klímaterve tartalmazza. A dokumentum tárgyalja többek között az energiabiztonságra, a megújuló energia arányára, az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére, az energiahatékonyságra vonatkozó célkitűzéseket és a szükséges intézkedéseket. [5]

A Nemzeti Energia- és Klímaterv célkitűzése, hogy a megújuló energia részarány 2030-ra elérje a 31 %-ot, amihez összesen 12 000 MW napenergiát és 1 000 MW szélenergiát hasznosító telepített erőművi kapacitásra lenne szükség. [5]

A kutatás célja, hogy megvizsgálja a Nemzeti Energia- és Klímaterveben vállalt megújuló energia részarányra vállalt célkitűzések az ország energiaszektorának szén-dioxid-kibocsátására gyakorolt hatását. A vizsgálat egy részében a feltárt kapcsolat alapján előrejelzés készül a Klímatervben vállalt megújuló célhoz. A tanulmány másik elemzésében pedig az előre jelzett értékek kapcsolata kerül megvizsgálásra.

1. Anyag és módszerek

A kutatásban a megújuló energiaforrásból előállított villamos energia aránya a teljes nettó villamosenergia-termeléshez viszonyítva, az energiaipar bruttó üvegházhatású gáz kibocsátása 2004 és 2022. közötti időszakra vonatkozó adatai kerültek felhasználásra.

Változó	Adat	Forrás
CO ₂ (ezer tonna)	Energiaipar bruttó üvegházhatású gáz kibocsátása	Központi Statisztikai Hivatal (2023)
RE (%)	Megújuló energiaforrásból előállított villamos energia aránya a teljes nettó villamosenergia-termeléshez viszonyítva	A MEKH és a MAVIR által közzétett villamosenergiára vonatkozó kiadvány (2022)

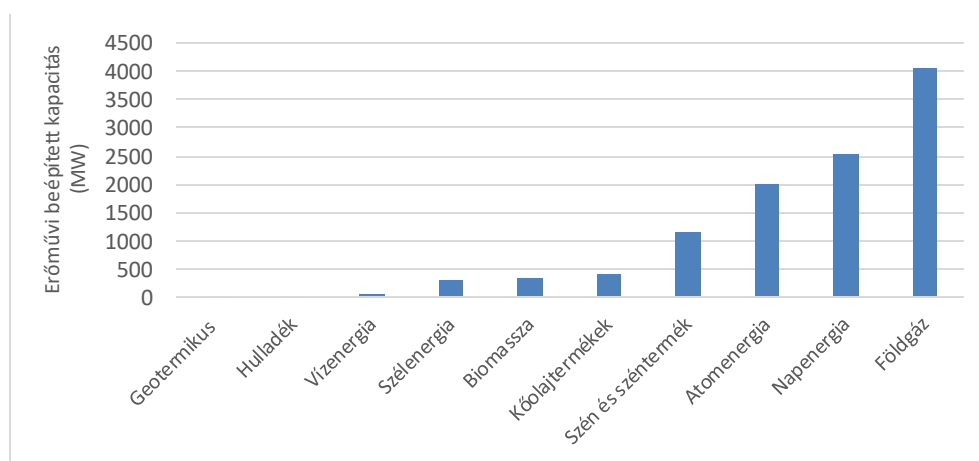
1. táblázat: Független és függő változók és mértékegységek

Korrelációanalízis és determinációs együttható segítségével kerül megvizsgálásra a változók közötti kapcsolat erőssége. Lineáris és exponenciális regresszió számítások kerülnek elvégzésre az előrejelzéshez és a változók közötti kapcsolat feltárásához. A regressziós modell szignifikanciájának meghatározása varianciaanalízissel történik.

2. Eredmények és értékelésük

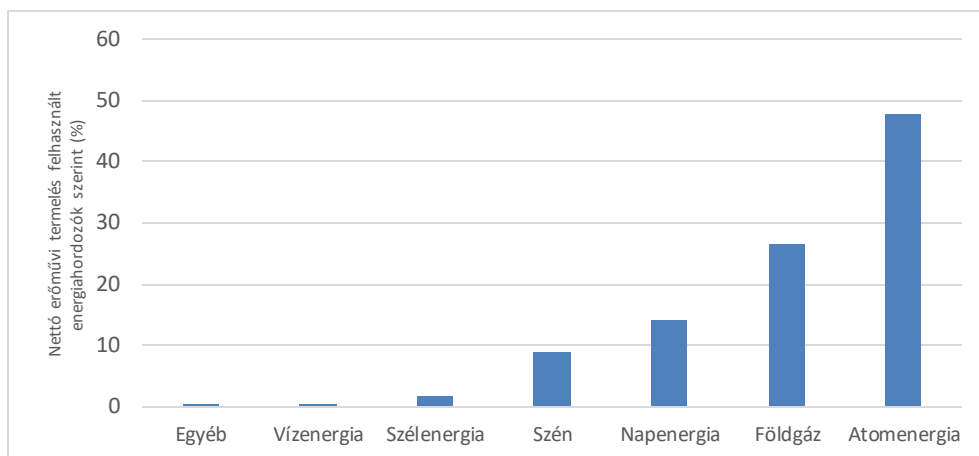
2.1. Magyarország villamosenergia-termelésre vonatkozó adatai 2022-ben

A Magyarországon termelt villamosenergiát 2022-ben 4058,8 MW földgáz, 2524,9 MW nap, 2026,6 MW atom, 1166,3 szén és széntermék, 424,8 MW kőolajtermék, 342,6 MW biomassza, 323,3 MW szél, 61,1 víz, 49,4 MW hulladék és 2,7 MW geotermikus erőművi kapacitások adták (1. ábra).



1. ábra: Rendszerszintű koordinációban résztvevő erőművek beépített teljesítőképessége elsődlegesen felhasznált energiahordozó szerint MW-ban, [6] alapján saját szerkesztés

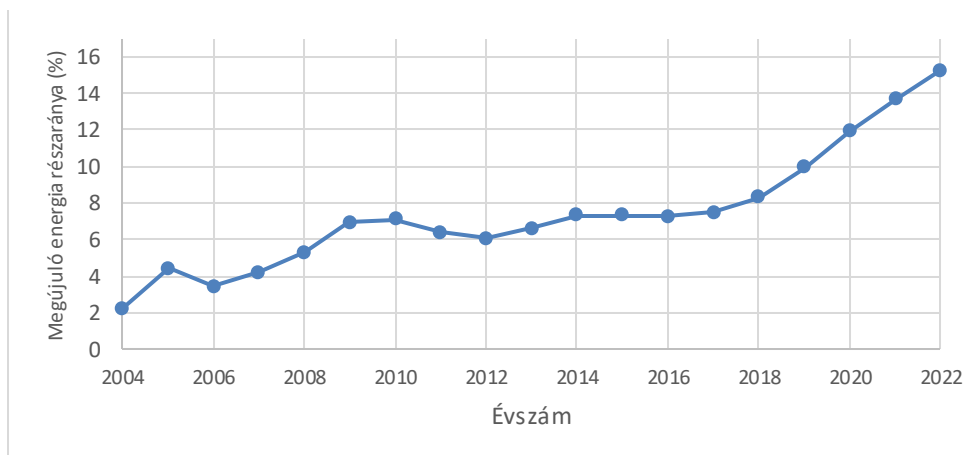
A Magyarországon termelt energia mennyiségének mértéke százalékos értékben a következő volt 2022-ben: atomenergia 48 %, földgáz 27 %, megújuló energia (nap, szél, víz) 15 %, szén 9 %, ezen felül megtalálhatók nem számottevő mértékben egyéb energiahordozók (2. ábra).



2. ábra: Nettó erőművi termelés felhasznált energiahordozók szerinti százalékban, [6] alapján saját szerkesztés

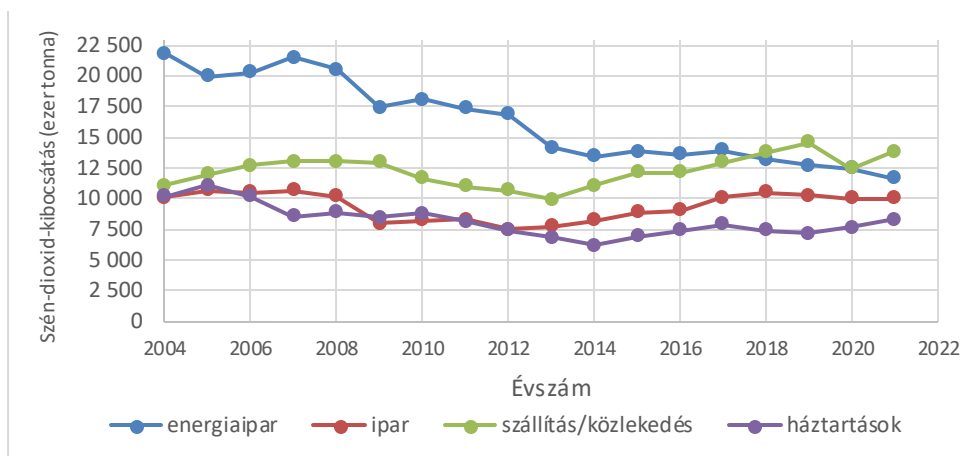
2.2. A megújuló energia részarányra és a szén-dioxid-kibocsátásra vonatkozó adatok 2021-ben

Magyarországon a 2000-es évek elején jelentek meg a megújuló energiaforrások, amelyek kezdetben nagyobb részben biomassza, kisebb százalékban geotermikus forrásból származtak. 2006 és 2010 között telepítésre került az ország jelenleg üzemelő szélerőművi kapacitása. A napenergiát hasznosító erőművek robbanásszerű terjedése 2010-ben kezdődött. A megújuló részarány a naperőművek terjedésének köszönhetően 2022-re meghaladta a 15 %-ot (3. ábra).



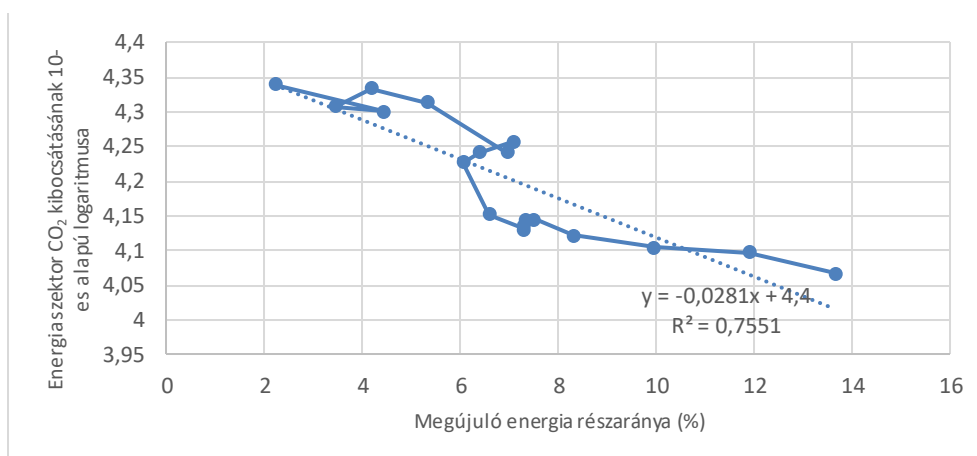
3. ábra: Megújuló energiaforrásból előállított villamos energia részaránya a teljes nettó villamosenergia-termelésen belül százalékban, [6] alapján saját szerkesztés

A tanulmány másik vizsgálendő tényezője Magyarország szén-dioxid egyenértékű gáz kibocsátásának mértéke. A kibocsátás felhasználási terület szerinti bontásban ezen időperiódusban a következőképpen alakult: az ipar és a háztartások kibocsátása többnyire 10 Mt körül változott 25 %-os eltéréssel, a szállítás/közlekedés emelkedő tendenciát folytatott, az energiaipar pedig 2004 óta jellemzően csökkenő tendenciát mutat (4. ábra).



4. ábra: Magyarország szén-dioxid egyenértékű gáz kibocsátásának mértéke felhasználási terület szerinti bontásban ezer tonnában, [7] alapján saját szerkesztés

Az energiaipar ezen bontás alapján az a szektor, ami a vizsgálat szempontjából legfontosabb számunka. A következő lépésben feltárásra került, hogy a megújuló energiaforrásból előállított villamos energia részaránya a teljes nettó villamosenergia-termelésen belül hogyan magyarázza az energiaszektor szén-dioxid-kibocsátását. Továbbá elemzés alá került a kapcsolat és az összefüggés az előállított megújuló energia és az energiaipar szektor üvegházhatású gáz kibocsátása között. (5. ábra)



5. ábra: Megújuló energiaforrásból előállított villamos energia részaránya a teljes nettó villamosenergia-termelés százalékában és az energiaipar bruttó üvegházhatású gáz kibocsátása tonnában, [6] [7] alapján saját szerkesztés

Az adatok közötti kapcsolat mind lineáris és mind exponenciális regresszió módszerével került megvizsgálásra. A változók között az exponenciális kapcsolat volt erősebb. A korrelációs együttható értéke $-0,869$, ami erős negatív korrelációt mutat a megújuló energiaforrásból előállított villamos energia részaránya a teljes nettó villamosenergia-termelés százalékában és az energiaipar bruttó üvegházhatású gáz kibocsátása között. Ugyanakkor a determinációs együttható nagysága $0,7551$, vagyis a modell alapján a megújuló energia részarány $75,51\%$ -ban magyarázza az energiaszektor üvegházhatású gáz kibocsátását (5. ábra). A varianciaanalízis szerint a regressziós modell szignifikáns ($F=49,34$, $p=2,87011e-06$). A megújuló energia részarány együtthatója $-0,028$, ami 95% -os megbízhatósági szinten szignifikáns. Az együttható alapján a megújuló energia részarány 1 egységnyi növekedése átlagosan $0,028$ egységgel csökkenti az energiaszektor üvegházhatású gázkibocsátását, minden egyéb változatlanóságát feltételezve.

A megújuló energiaforrásból előállított villamos energia részaránya és az energiaipar bruttó üvegházhatású gáz kibocsátása között kapcsolatra becsült modell adatainak felhasználásával a a Nemzeti Energia- és Klímaterv 2030-ra meghatározott 31 %-os megújuló részarányhoz tartozó kibocsátás mértéke megadható a következőképpen:

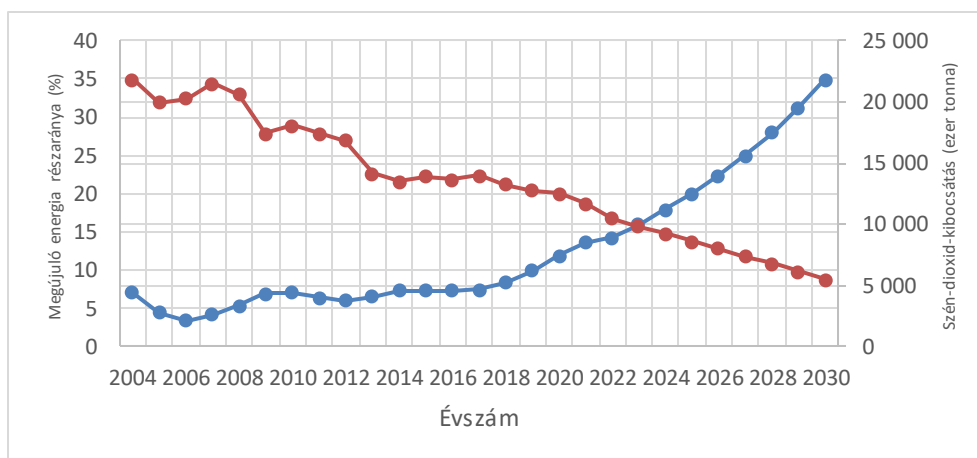
$$Y_{2030} = 10^{(-0,0281 \cdot 31 + 4,4)}$$

$$Y_{2030} = 3379,87 \text{ ezer t}$$

Az előrejelzés alapján 2030-ra a 31 %-os megújuló részarány mellett 3379,87 ezer tonnára csökkenhet Magyarország energiaszektorának szén-dioxid-kibocsátása.

2.3. Előre jelzett megújuló energia részarányra és a szén-dioxid-kibocsátásra vonatkozó adatok 2030-ra

A következőkben regressziós modell felállításával, arra keressük a választ, hogy amennyiben a mostani trendek folytatódnak a megújuló energiarészarányánál és az energiaszektor szén-dioxid-kibocsátásánál, akkor a milyen kapcsolat figyelhető meg a két változó között. A megújuló energiarészarány előrejelzésénél a 2015-2021-es adatok kerültek felhasználásra, hiszen azok mutatják legpontosabban a Párizsi Klímaegyezményben vállalt ambíciókat. Az adatok időbeni alakulása leginkább exponenciális függvényvel jellemezhető. Az energiaszektor szén-dioxid-kibocsátására linearitás volt jellemző, így 2030-ig a lineáris egyenes egyenletével jeleztem előre az eredményeket. (6. ábra)



6. ábra: Megújuló energiaforrásból előállított villamos energia részaránya a teljes nettó villamosenergia-termelésen belül százalékban (kék színnel) és az energiaipar bruttó üvegházhatású gáz kibocsátása ezer tonnában (sárgával), [6] [7] alapján saját szerkesztés

Az adatsorok között regressziós modell segítségével vizsgáltuk a lineáris és az exponenciális kapcsolatot, melyek közül az utóbbi bizonyult erősebbnek. A korrelációs együttható értéke $-0,9516$, ami erős negatív korrelációt mutat a megújuló energiaforrásból előállított villamos energia részaránya a teljes nettó villamosenergia-termelés százalékában és az energiaipar bruttó üvegházhatású gáz kibocsátása között. A determinációs együttható nagysága $0,9055$, ami a modell alapján arra utal, hogy a megújuló energia részarány $90,55$ %-ban magyarázza az energiaszektor üvegházhatású gáz kibocsátásának varianciáját. A varianciaanalízis szerint a regressziós modell szignifikáns ($F=239,61$, $p=2,57e-14$). A megújuló energia részarányra vonatkozó regressziós együttható $-0,01862$, amely 95 %-

os megbízhatósági szinten szignifikáns ($p=2,57e-14$). Ez azt jelenti, hogy a megújuló energia részarány 1 egységnyi növekedése átlagosan 0,01862 egységgel csökkenti az energiaszektor üvegházhatású gáz kibocsátását, minden mást változatlanul hagyva.

A modell alapján 2030-ra előre jelzett 34,98 %-os megújuló részarányhoz 5 519 ezer tonna szén-dioxid-kibocsátás tartozna.

3. Következtetések

A klímaváltozás és következményei az elkövetkező évtizedekben elengedhetetlen vizsgálendő területek lesznek. Fontos, hogy fokozott figyelmet fordítsunk az energiaszektorra, mint az egyik legnagyobb kibocsátással rendelkező területre és a kibocsátás szempontjából semleges energiatermelők implementálására a villamosenergia-rendszerbe. A tanulmány megírása során megvizsgálásra került Magyarország villamosenergia helyzete, valamint a jelenlegi termelők és a megújuló energia részarány nagyságának alakulása. Bemutatásra kerültek a Nemzeti Energia- és Klímatervben vállalat megújuló-energia részarányra vállalt célkitűzések, és ezen adatok felhasználásával modelleket készítettünk. A megújuló energiaforrásból előállított villamos energia részaránya a teljes nettó villamosenergia-termelésen belül és az energiaipar bruttó üvegházhatású gáz kibocsátása között erős negatív exponenciális kapcsolat áll fenn. Azaz a megújuló energiaforrásból előállított villamos energia részarányának növelése a teljes nettó villamosenergia-termelésen belül jelentős csökkentő hatást eredményez az energiaipar bruttó üvegházhatású gáz kibocsátására nézve. A tanulmányunk szerint a Nemzeti Energia- és Klímatervben 2030-ra vállalt, a megújuló energia részarányra vonatkozó célok elérése nagy mértékben hozzájárul a szén-dioxid-kibocsátás csökkentéséhez az elkövetkező 15 évben.

Összeférhetetlenségek

T. Kiss Judit a folyóirat főszerkesztő-helyettese, ezért a bírálati folyamatban semmilyen minőségben nem vett részt.

Hivatkozások

- [1] H. L. Treut, S. R., U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather, "Historical Overview of Climate Change. In: Climate Change," in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2007.
- [2] "Statista - Annual carbon dioxide (CO₂) emissions worldwide from 1940 to 2023," [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/276629/global-co2-emissions/>. [Accessed 15. április 2024.].

- [3] "Statista - Annual greenhouse gas (GHG) emissions worldwide from 1990 to 2022," [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/1423179/global-ghg-emissions-by-sector-annual/>. [Accessed 15. április 2024.].
- [4] "United Nations - Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy," [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/>. [Accessed 15. április 2024.].
- [5] Energiaügyi Minisztérium, " Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterve 2023 felülvizsgált változat," Budapest, 2023.
- [6] MEKH és MAVIR közös szerkeztőbizottság, "A magyar villamosenergia-rendszer 2022. évi adatai," MAGYAR ENERGETIKAI ÉS KÖZMŰ-SZABÁLYOZÁSI HIVATAL, MAVIR MAGYAR VILLAMOSENERGIA-IPARI ÁTVITELI RENDSZERIRÁNYÍTÓ ZRT., Budapest, 2022.
- [7] "KSH - Légszennyező anyagok és üvegházhatású gázok kibocsátása," [Online]. Available: https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0017.html. [Accessed 11. május 2024.].



© 2024 by the authors. Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).