

TÉNYKÉP /REPORTS

Energiadiverzifikáció és fenntarthatóság: Európa zöld átalakulása

Transforming Europe's energy consumption: From fossil fuels to the rise of renewable energy

JENEI SZONJA, MÓDOSNÉ SZALAI SZILVIA,
KÁLMÁN BOTOND GÉZA

JENEI Szonja: adjunktus, Széchenyi István Egyetem, Kautz Gyula Gazdaságtudományi Kar, Vezetéstudományi és Marketing Tanszék; 9026 Győr, Egyetem tér 1.; jenei.szonja@sze.hu; <https://orcid.org/0000-0002-6865-1219>

MÓDOSNÉ SZALAI Szilvia: adjunktus, Széchenyi István Egyetem, Kautz Gyula Gazdaságtudományi Kar, Nemzetközi és Alkalmazott Közgazdaságtan Tanszék; 9026 Győr, Egyetem tér 1.; modosne.szalai.szilvia.valeria@sze.hu; <https://orcid.org/0009-0005-2164-9014>

KÁLMÁN Botond Géza: adjunktus, Neumann János Egyetem, Gazdaságtudományi Kar, Pénzügyi és Számviteli Tanszék; 6000 Kecskemét, Izsáki út 5.; kalman.botond.geza@nje.hu; <https://orcid.org/0000-0001-8031-8016>

KULCSSZAVAK: energiafogyasztás; megújuló energia; fosszilis tüzelőanyagok; energiaátmenet; nukleáris energia; energiabiztonság

ABSZTRAKT: Az európai országok energiafogyasztási tendenciáinak és jellemzőinek megértése hozzájárul a fenntarthatósági célok eléréséhez, az energiabiztonság növeléséhez és az energiaátmenetet célzó hatékony regionális politikák kialakításához. Tanulmányunk célja az európai energiafogyasztás megoszlásának bemutatása, különös tekintettel a fosszilis tüzelőanyagokból, atomerőművekből és megújuló energiaforrásokból származó energia arányának 2002 és 2022 közötti változására. Az egy főre jutó energiafogyasztás kvantitatív elemzése klaszteranalízissel történt, melynél a szemléletességet grafikus ábrázolás helyett decilisek képzésével oldottuk meg. Lineáris és exponenciális kapcsolatot vizsgáltunk az energiafelhasználás és a GDP egy főre jutó értéke között. Az elemzés pontosságának növelése érdekében a kiugró értékeket azonosítottuk és kizártuk. A vizsgálat eredményei alapján az európai országok egyre kevésbé támaszkodnak a fosszilis tüzelőanyagokra, miközben a megújuló energiaforrások szerepe nő energiafelhasználásukban. Hat energiafogyasztási klasztert azonosítottunk, és megállapítottuk, hogy Izland és Norvégia élen jár a megújuló energia felhasználásában. Az elemzés exponenciális összefüggést mutatott az energiafogyasztás és a GDP között, miközben a megújuló energia térnyerése gyorsabb ütemű volt, mint a teljes fogyasztás növekedése. Az eredmények rámutatnak az egyes országok eltérő fenntarthatósági és energiafüggetlenségi stratégiáira. A magas GDP-értékkel bíró országok strukturálisan eltérnek a GDP és az egy főre jutó energiafelhasználás közötti általános pozitív összefüggéstől, ami gazdasági szerkezetük, energiatenzitásuk és intézményi környezetük sajátosságaival magyarázható. Az eredmények megerősítik az energiaforrások diverzifikálásának és a megújuló energiahasználat bővítésének fontosságát a fenntarthatóság és az energiabiztonság javítása érdekében. Egyúttal hasznos alapot nyújthatnak a döntéshozók számára az energiaátmenetet célzó regionális stratégiák és környezetvédelmi kezdeményezések kidolgozásához.



Szonja JENEI: assistant professor, Department of Corporate Leadership and Marketing, Kautz Gyula Faculty of Business and Economics, Széchenyi István University; Egyetem tér 1., H-9026 Győr, Hungary; jenei.szonja@sze.hu; <https://orcid.org/0000-0002-6865-1219>

Szilvia MÓDOSNÉ SZALAI: assistant professor, Department of International and Applied Economics, Kautz Gyula Faculty of Business and Economics, Széchenyi István University; Egyetem tér 1., H-9026 Győr, Hungary; modosne.szalai.szilvia.valeria@sze.hu; <https://orcid.org/0009-0005-2164-9014>

Botond Géza KÁLMÁN: assistant professor, Department of Finance and Accounting, Faculty of Business and Economics, John von Neumann University; Izsáki út 5., H-6000 Kecskemét, Hungary; kalman.botond.geza@nje.hu; <https://orcid.org/0000-0001-8031-8016>

KEYWORDS: energy consumption; renewable energy; fossil fuels; energy transition; nuclear energy; energy security

ABSTRACT: Understanding the energy consumption patterns of European countries is essential for achieving sustainability goals, enhancing energy security, and supporting the development of effective energy transition policies. This study examines the distribution of energy consumption across Europe, with particular attention to changes in the share of fossil fuels, nuclear energy, and renewable energy sources between 2002 and 2022. The analysis draws on per capita energy consumption data and applies cluster analysis to identify characteristic national energy profiles. To improve interpretability, countries were grouped into deciles rather than relying on graphical visualization. In addition, both linear and exponential relationships between energy consumption and GDP per capita were examined, while outliers were identified and excluded to enhance the robustness of the results.

The findings indicate a clear transformation in European energy systems, with most countries reducing their reliance on fossil fuels while increasing the share of renewable energy sources. Six distinct energy consumption clusters were identified, reflecting different national strategies and structural characteristics. Iceland and Norway stand out as leading examples of renewable energy use. The analysis further reveals an exponential relationship between GDP and energy consumption, indicating that energy use increases at a non-linear rate with economic growth. At the same time, the expansion of renewable energy use has been more dynamic than that of total energy consumption. Furthermore, high-income countries exhibit structural deviations from the general positive relationship between GDP and per capita energy consumption, which can be explained by differences in economic structure, energy intensity, and institutional context. Overall, the findings highlight the diversity of national energy transition pathways and underline the importance of energy diversification and the expansion of renewable energy sources. The results provide valuable insights for policymakers, supporting the design of regionally adapted energy strategies and sustainability-oriented policy interventions.

Bevezetés

A fenntarthatóság a Brundtland Bizottság jelentése óta téma a tudományos körökben és a köztudatban is (UN 1987). A fogalom lényegében a jövőnek a jelenben történő biztosítását jelenti a jövő generációk lehetőségeinek megőrzése mellett. Az európai energiafogyasztás átalakulása része ennek a folyamatnak. Az energiafelhasználási mintázatok elemzése segítheti a fosszilis tüzelőanyagokról a megújuló energiaforrásokra történő áttérést, ami hozzájárul a fenntarthatósághoz. Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (European Environment Agency, EEA) legutóbbi jelentése szerint 2021-ben a gazdasági fellendülés hatására nőtt az üvegházhatású gázok kibocsátása

és az energiafogyasztás, különösen a közlekedési, ipari és energiaellátási ágazatokban. A megújuló energiára történő áttérés, az ún. energiaátmenet ugyanakkor lelassult. Ennek fő oka az energiaellátási válság, ami elsősorban az orosz kőolaj- és földgázimport kiesése miatt alakult ki. Mivel az európai energiaszektor még nem rendelkezik kész zöldenergia-infrastruktúrával, a hiányzó energiafordozók rövid távú pótlása csak a meglévő tartalékok, azaz fosszilis tüzelőanyagok felhasználásával volt lehetséges (EEA 2022a). Az Európai Unió (EU) tagállamainak energiastratégiáiban – különösen a megújuló energia alkalmazása és az energiahatékonysági intézkedések terén – jelentős eltérések vannak. Az EU 2030-as célkitűzése az üvegházhatású gázok kibocsátásának legalább 55 százalékos csökkentése és a megújuló energia arányának 42,5 százalékra történő növelése. 2050-re cél a teljes klímaseglegesség, ami korszerű, dekarbonizált energetikai infrastruktúra kiépítését igényli (EEA 2022a).

Bár a gazdaság bővülése gyakran jár együtt az energiafogyasztás növekedésével, a fenntartható fejlődés elméletileg elérhető energiahatékonysági beruházásokkal: ezek nemcsak az energiafogyasztás csökkentéséhez, hanem az energiabiztonság növeléséhez és a környezeti terhelés mérsékléséhez is hozzájárulnak (EP/EC 2018). Az EU előtt álló fő kihívás a gazdasági növekedés, az energiabiztonság és a fenntarthatóság összehangolása. A fosszilis tüzelőanyagok dominanciája, az energiaátmenet lassúsága és a nemzeti energiapolitikák eltérései akadályozzák az egyetemes fejlődést, ezért ezeknek a problémáknak a kezelése elengedhetetlen a klímacélok eléréséhez és a fenntartható energiarendszer kiépítéséhez. Bár az energiapolitika hivatalosan megosztott hatáskör az EU-ban, a legfontosabb kérdésekben (például atomenergia, energiamix, energiaforrások kiválasztása) a tagállamok önmaguk dönthetnek. Ennek megfelelően nem a központi szabályozás hatásköri kiterjesztése, hanem a tagállamok együttműködése jelentheti a leggyorsabb utat a klímacélok és a fenntarthatóság eléréséhez.

A kutatás célja az európai energiafogyasztási tendenciák elemzése, különös tekintettel a fosszilis energia csökkentésének lehetőségeire, illetve a nukleáris és megújuló energiaforrások alkalmazásának elősegítésére. Az eredmények a legjobb gyakorlatok azonosítását, valamint a fenntarthatóság, az energiadiverzifikáció és az energiafüggetlenség előmozdítását szolgálják.

Szakirodalmi áttekintés

Az áttekintés az európai energiarendszerek átalakításának szükségességét vizsgálja, kiemelt figyelemmel a fosszilis tüzelőanyagokról a megújuló és nukleáris energiaforrásokra történő átállásra. Ez az energiaátmenet szervezett folyamat, amely nemcsak az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését, hanem a hosszú távú fenntartható fejlődést is szolgálja (Véliz et al. 2025). A nukleáris technológiák fejlődése miatt az eddig elutasító országoknak is érdemes újragondolni stratégiájukat (Kröger, Sornette, Ayoub 2020; Rehm 2023).

A fosszilis tüzelőanyagoktól a fenntartható energiaforrások felé történő energiaátmenet napjaink egyik legfontosabb feladata. Az EU 2050-re teljesen klímasemlegessé kíván válni (Bucur et al. 2021; Ernst 2021). Ehhez pedig az üvegházhatásért felelős fosszilis tüzelőanyagok kivezetésének és fenntartható energiaforrásokra váltásának is meg kell történnie. A folyamat ugyanakkor lassan halad, amihez részben a külső körülmények járulnak hozzá. A 2022 óta zajló orosz-ukrán háború miatt az orosz kőolaj és földgáz európai importja jelentősen visszaesett. A hiányzó energiát csak a rendelkezésre álló forrásokból, azaz fosszilis tüzelőanyagokból lehetett pótolni. Különösen igaz ez azért, mert a zöldenergia-infrastruktúra még nem épült ki.

A területtel foglalkozó szerzők szerint az energiaátmenet nem egyszerűsíthető le csak a technológiai fejlesztésekre (Baranowski 2024; Geels et al. 2017; Kappner, Letmathe, Weidinger 2023), mivel a társadalmi elfogadottság, viselkedésváltozás és strukturális örökség kulcsfontosságú (Hebda 2023; Kappner, Letmathe, Weidinger 2023). A gazdasági-politikai akadályokat (például beruházási kockázatok, piaci ösztönzők hiánya) általában szintén felismerik (Hebda 2023; Loáiciga 2011; Wang et al. 2018). Eltérnek ugyanakkor a vélemények arról, hogy mi az átmenet hajtóereje. Geels és szerzőtársai (2017), illetve Kappner és szerzőtársai (2023) szerint a szociotechnikai rendszerek szerepe a fontos: a változás elsősorban az intézmények és a fogyasztók területén zajlik, hacsak a rendszer belső tehetetlensége és az értékrend meg nem gátolja azt. Loáiciga (2011) a kormányzati stratégiát és a beruházásokat emeli ki, a változások fő terepeként pedig a makroszintet, az állami energiapolitikát jelöli meg. Értelmezésében az átmenet fő akadályai is geopolitikai és pénzügyi természetűek. Hebda (2023) a kényszerített szerkezeti alkalmazkodást hangsúlyozza és a változások feltételét a nemzeti kontextusban, a gazdasági adottságokban látja. Ennek megfelelően az örökölt szerkezet és az infrastruktúra elégtelensége lehet az átmenet legfőbb gátja.

Közös szakirodalmi vélemény, hogy az átmenetben nincs egyetlen, mindent megoldó energiaforrás. Malins (2013) a bioüzemanyagokat, Paraschiv és Paraschiv (2023), illetve Faninger (2003) a vízenergiát vizsgálja. Benediktsson (2021), valamint Tverijonaite és Sæpórsdóttir (2024) az izlandi modellt elemzi. Ennek fő eleme a víz- és a geotermikus energia dominanciája a fűtésben és az iparban (Azhari et al. 2025; Spittler et al. 2020), valamint az üzemanyaggyártásban (Kauw, Benders, Visser 2015). Hasonlóan zöldnek tekinthető Norvégia is (Hansen, Moe 2022; Lawford 2023). Laleman és Albrecht (2016), illetve Kunsch és Friesewinkel (2014) a belga, Charmasson és szerzőtársai (2018) pedig a norvég szél-nap-nukleáris mixet elemzik. Mindegyikük arra a véleményre jut, hogy a fenntarthatóság a források kombinációján, nem pedig egyeduralmán alapul. A bioenergia és a biomassza megítélése ambivalens (Fingerman et al. 2019; Isola et al. 2018; Malins 2013; Wang et al. 2018). Közös álláspontnak tekinthető, hogy a diverzifikációnak nemcsak technológiai, hanem földrajzi és társadalmi dimenziója is van. Hoffacker és Hernandez (2020) szerint a lokális önellátás sikeresebb, Caldés és szerzőtársai (2018)

szerint pedig éppen a nemzetközi együttműködés (ami tulajdonképpen térbeli diverzifikáció), különösen, ha energiaexportról van szó (Azevedo dos Santos Silva 2023). Térbeli folyamat a várostervezés is (Geissler et al. 2022), hiszen a települési és regionális tervezés döntései meghatározzák az energiarendszerek fizikai elhelyezkedését, a lokális önellátás lehetőségeit és ezáltal az energiadiverzifikáció térbeli megvalósulását.

A társadalmi dimenziók közül Martins és szerzőtársai (2019), illetve Gajdzik és szerzőtársai (2024) az alkalmazkodást hangsúlyozzák, Fingerman és szerzőtársai (2019), illetve Malins (2013) pedig technológiai kritikát fogalmaz meg: nem minden alternatíva jó pusztán azért, mert nem fosszilis. Egyes „zöld” megoldások (például nagyipari biomassza) valójában új típusú függőségeket hoznak létre (Ciupageanu, Lazaroiu, Mihaescu 2021). A megújulók kisebb környezeti hatással járnak, de ez nem nulla: figyelni kell a technológiai lábnyomra is (Martins et al. 2019). Érdekes módon, az ipar szerepét csupán Gajdzik és szerzőtársai (2024), illetve (részben) Martins és szerzőtársai (2019) hangsúlyozzák. Az infrastruktúrával ugyanakkor mindenki foglalkozik (Pisică et al. 2024). Caldés és szerzőtársai (2018) a határokon átnyúló megoldásokat, míg Hoffacker és Hernandez (2020) a lokális fejlesztést hangsúlyozzák. Fingerman és szerzőtársai (2019) az exportkockázatok szerepét emelik ki.

Az átmenet legfontosabb gyakorlati kérdése a megújuló energiaforrások és a GDP kapcsolata: a téma kutatói azt próbálják megmutatni, hogy miként lehet egyszerre növekedni és zöldülni (Dogan, Ozturk 2017; Gao, Liu, Elsworth 2024). Azonban nem mindenki ért egyet ezzel a megközelítéssel. Véliz és szerzőtársai (2025) szerint a GDP-alapú mérés félrevezető lehet, ha nem tartalmazza az anyag- és energiaintenzitást. Ezért ún. dekarbonizált jóléti mutatók bevezetését javasolják. Adhikari, Niroula és Singh (2024) szerint a környezeti terhelés előbb nő, majd csökken a GDP értékének növekedésével, de csak akkor, ha megújulóenergia-orientált és hatékony energiaátmenet történik. Liu, Xie és Wang (2023) kimutatja, hogy a növekedésorientált modellek – különösen válság idején – gyakran felülírják a klímacélokot. Ez a szemlélet eltér Dogan, Ozturk (2017) megközelítésétől, amely a megújuló energia és a gazdasági növekedés közötti pozitív kapcsolatot hangsúlyozza. A gazdasági növekedés azonban önmagában nem garantálja a klímacélok teljesülését, még akkor sem, ha részben megújuló energiaforrásokra támaszkodik.

Shah és Ximei (2024) új szempontot adnak a kutatásokhoz: a digitális gazdaság szerepét hangsúlyozzák az energiamix átalakításában, de arra is felhívják a figyelmet, hogy ez csak megfelelő politikai környezet esetén hatásos. Mások az új technológiákat vizsgálják (Arifin et al. 2012; Brune, Lundquist, Benemann 2009; Chitu, Mecu, Marin 2024). Udemba és Tosun (2022), továbbá Selçuklu, Rodgers és Movlyanov (2022) megállapítja, hogy gazdasági előnyök csak akkor jelentkeznek, ha az intézményi környezet stabil és ösztönző. Ez támogatja Ray, Aditya és Pal (2023) állítását, amely szerint nem elég csak megújuló energiaforrásokra váltani, ha közben a korrupció elnyeli az eredményt. Nagaj és szerzőtársai (2024), illetve

D’Orazio és Dirks (2022) is ezt hangsúlyozzák. Atzler és szerzőtársai (2023) a társadalmi támogatottságot emelik ki, míg az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA 2022b) a politikai keret- és célrendszert. Hasonló szempontok az atomenergiaival kapcsolatban is felmerülnek (Kröger, Sornette, Ayoub 2020; Rehm 2023; Sivonen, Kivimaa 2024). Mivel ez az energiafajta nem megújuló, de dekarbonizált, kulcs lehet a mélydekarbonizációhoz, a széndioxid-kibocsátás teljes megszüntetéséhez (Meinke-Hubeny, de Oliveira, Duerinck 2017; Pilpola, Lund 2018). Mások viszont az atomenergia negatív megítélését emelik ki (Wurster, Hagemann 2020).

Egyetértés van tehát a szakirodalomban arról, hogy a megújuló energiaforrások akkor gyakorolhatnak pozitív hatást a gazdasági növekedésre, ha jó intézményi háttér van mögöttük (Ray, Aditya, Pal 2023; Udemba, Tosun 2022), nem torzítja őket válság vagy korrupció (Liu, Xie, Wang 2023; Shah, Ximei 2024), és a technológiai háttér is rendben van (Gao, Liu, Elsworth 2024). Számos kérdésben azonban eltérések vannak a kutatók között. Míg Dogan és Ozturk (2017) szerint a megújuló energiák hatása a GDP értékére pozitív, Udemba és Tosun (2022), illetve Ray, Aditya és Pal (2023) azt állítja, hogy ez a hatás feltételes (intézményfüggő), míg Liu, Xie és Wang (2023), továbbá Shah és Ximei (2024) azt, hogy válság alatt gyengül. Véliz és szerzőtársai (2025) éppen ezért új mutatókat és alternatív szemléletet javasolnak.

Módszertan

Elemzésünk az európai országok energiafogyasztási adataira épül, melyek tartalmazza a fosszilis, a nukleáris és a megújuló energia mennyiségét és arányát az összes energiafogyasztásban. A 2002–2022 közötti időszakot vizsgáljuk, amely lefedi az Európai Unió első átfogó klíma- és energiapolitikai keretének kialakulását és fejlődését. A 2008-ban elfogadott „három 20-as célkitűzés” (üvegházhatású gázok kibocsátásának 20 százalékos csökkentése az 1990-es szinthez képest, megújuló energiák 20 százalékos részaránya az energiafogyasztásban, energiahatékonyság 20 százalékos növelése 2020-ig) mérőszámoként számít az EU energiaátmenetet célzó stratégiájában. A kiválasztott időtáv lehetővé teszi e célkitűzések előzményeinek, bevezetésének és utóhatásainak vizsgálatát, beleértve az olyan külső sokkokat is, mint a 2008-as gazdasági válság vagy a 2022-es energiakrízis. Az adatokat kWh/fő egységben vizsgáltuk (Global Material Flows Database 2024). A 2022-es évet azért választottuk záróévnek, mert a legtöbb indikátor esetében ekkorra érhetők el a legfrissebb, stabil és teljes körű statisztikák.

Az elemzés célja az európai országok energiafelhasználási szerkezetük alapján történő csoportosítása volt. A szakirodalom alapos áttanulmányozása után az alábbi hipotéziseket fogalmaztuk meg az energiaforrások megoszlásáról, a gazdasági növekedés és az energiafelhasználás kapcsolatáról, valamint megújuló energia térnyeréséről.

H1. Az európai országok klaszterezhető energiafelhasználási mintázataik alapján, különösen a fosszilis, megújuló és nukleáris energiaforrások relatív arányainak figyelembevételével.

H2. Az energiafelhasználás és a gazdasági növekedés között nem lineáris kapcsolat figyelhető meg, a GDP növekedési üteméhez képest az energiafogyasztás gyorsabban emelkedik, mivel a gazdasági fejlődés fokozott energiaigényt eredményez.

H3. A magas GDP-értékkel rendelkező országok egy alcsoportja szignifikánsan eltér a GDP és az egy főre jutó energiafogyasztás közötti általános pozitív összefüggéstől.

H4. Az alacsony és közepes GDP-értékekkel rendelkező országokban a gazdasági növekedés statisztikailag szignifikánsabban korrelál a megújulóenergia-felhasználás, mint a teljes energiafogyasztás növekedésével.

A hipotézisek igazolásához a következő eljárásokat alkalmaztuk. Első lépésként az országokat decilisekbe soroltuk fosszilis, nukleáris és megújuló energiafelhasználásuk alapján. Ez lehetőséget adott az energiafogyasztási struktúra átfogó elemzésére, szemléletesebbé tételére és az országok közötti összehasonlításra. A decilisek határait az adatok eloszlása határozta meg. Fontos módszertani megjegyzés, hogy a nukleáris energia egy főre jutó felhasználásának eloszlása erősen aszimmetrikus volt, mivel a vizsgált országok több mint fele nem alkalmazott nukleáris energiát. Ennek következtében az alsó öt decilis határértéke azonos (0 kWh/fő) lett, ami az 1–5. decilisek összecsúszását eredményezte. Ez tehát nem a besorolás bizonytalanságát, hanem az eloszlás strukturális sajátosságait tükrözi. A táblázatokban az ilyen országok esetében „1–5” jelölést alkalmaztunk, jelezve, hogy az adott érték az eloszlás alsó 50 százalékába tartozik.

Az eredmények alapján hat-hat jellegzetes klasztert azonosítottunk 2002-ben és 2022-ben is. A klasztereket az energiafelhasználási stratégiák szerint neveztük el. Az összehasonlítás feltárta, hogy miként alakultak át az országok energiafogyasztási stratégiái a két évtizedben. Fontos felhívunk a figyelmet arra, hogy a klaszterek képzése az országok energiafogyasztási mintázatai szerinti „viselkedési” hasonlóság alapján történt és nem gazdaságszerkezeti alapon. Ez a kutatás korlátja, de egyben felveti – a GDP, a népesség vagy a gazdasági szektorok súlyának bevonásával – egy jövőbeli többváltozós klaszterezés alkalmazásának lehetőségét.

Ezután megvizsgáltuk a megújulóenergia-felhasználás és az összes energiafogyasztás kapcsolatát a különböző országok GDP-értékével. Az elemzéshez lineáris és exponenciális regressziós modelleket alkalmaztunk. Az exponenciális modell pontosabb eredményeket adott. Elvégeztük a maradékok vizsgálatát is. Azokat az országokat, amelyek a ± 2 szórásnál nagyobb reziduál, illetve a Cook's Distance mutató alapján torzító hatást gyakoroltak a modellre (Izland, Norvégia, Svájc, Luxemburg, Írország), azaz az átlagtól jelentősen eltérő értékeket mutattak, outliernek minősítettük és kizártuk a végső vizsgálatból. A kizárás oka, hogy ezen országok mindegyike egyedi, specifikus energia- vagy gazdaságszerkezettel rendelkezik (például rendkívül magas megújuló arány vízenergiából, vagy a GDP értékét torzító adóparadicsomi hatások).

Az elemzéseket az SPSS statisztikai szoftvercsomaggal végeztük, amely lehetővé tette a decilisek kialakítását, a klaszterelemzést és a regressziós modellek kiértékelését. Az adatok előkészítését és vizualizációját Excel segítségével hajtottuk végre. A klaszterek időbeli változásainak vizsgálata rávilágított arra, hogy egyes országok megtartották vagy módosították energiafogyasztási stratégiáikat 2002 és 2022 között. Az exponenciális regresszió eredményei pedig azt mutatták, hogy a megújuló energia felhasználásának növekedése jóval intenzívebb ütemben követi a GDP bővülését, mint a fosszilis vagy a nukleáris energia fogyasztása. Az outlier országok külön elemzése feltárta azokat az egyedi stratégiákat, amelyek ezeket az államokat megkülönböztetik a többitől. Eredményeink hozzájárulnak az európai energiafogyasztási stratégiák mélyebb megértéséhez, és segítenek azonosítani azokat a trendeket, amelyek meghatározhatják a jövőbeni energiafelhasználás irányait Európában.

Eredmények

Az eredményeket a hipotézisek sorrendjében mutatjuk be. Először a klaszterelemzés tanulságait ismertetjük, melyet az energiafelhasználásban bekövetkezett változások elemzése követ. Ezután a lineáris és exponenciális regresszió összehasonlítása, majd az outlierok nélküli modell vizsgálata következik. Végül kvalitatív elemzés keretében bemutatjuk az outlier országok gazdasági és földrajzi sajátosságait.

Klaszterek képzése

Az 1-2. táblázat az egy főre jutó energiafogyasztás alakulását mutatja be országonként és energiatípusonként 2002-ben és 2022-ben. A táblázatok kWh egységben tartalmazzák a fosszilis, a nukleáris és a megújuló energia felhasználásának, valamint megoszlásának adatait.

A táblázatok alapján elmondható, hogy a legtöbb ország csökkentette a fosszilis és növelte a megújuló energiaforrások részarányát. A fosszilis energia látványos csökkenése volt jellemző Ausztria, Németország, Franciaország és Svájc esetében, ami jól magyarázható a dekarbonizációval, az energiahatékonysággal, illetve a gazdasági szerkezetváltással. Dánia, Németország és Finnország élen jár a megújuló energiaforrások arányának növelésében. A zöldítés jegyében több ország (Németország, Litvánia) is leépítette nukleáris kapacitásait. Ugyanakkor Izland és Norvégia a geotermikus- és vízenergia, Luxemburg pedig a fosszilis források extrém magas arányával jelentősen eltér az általános trendtől, ezért outlierként nem kerültek be a végső regressziós modellbe.

1. táblázat: Az európai országok egy főre jutó energiafogyasztása 2002-ben
Per capita energy consumption in European countries in 2002

Ország	Egy főre jutó fosszilis energia (kWh)	Egy főre jutó nukleáris energia (kWh)	Egy főre jutó megújuló energia (kWh)	Összesen	Fosszilis arány (%)	Nukleáris arány (%)	Megújuló arány (%)
Ausztria	35 145,6	0,0	15 210,7	50 356,3	69,8	0,0	30,2
Belgium	57 679,6	12 809,6	339,8	70 829,0	81,4	18,1	0,5
Bulgária	19 439,0	7 102,3	774,5	27 315,8	71,2	26,0	2,8
Fehéroroszország	25 296,7	0,0	8,4	25 305,0	100,0	0,0	0,0
Svédország	24 857,5	10 410,0	14 515,4	49 782,9	49,9	20,9	29,2
Csehország	41 477,5	5 126,3	868,0	47 471,8	87,4	10,8	1,8
Németország	41 845,7	5 669,0	1 673,7	49 188,4	85,1	11,5	3,4
Dánia	40 237,5	0,0	3 779,7	44 017,2	91,4	0,0	8,6
Spanyolország	32 200,8	4 255,3	2 471,5	38 927,6	82,7	10,9	6,3
Észtország	41 689,9	0,0	77,3	41 767,2	99,8	0,0	0,2
Finnország	47 297,5	12 007,5	11 602,5	70 907,5	66,7	16,9	16,4
Franciaország	28 689,0	20 604,1	3 172,7	52 465,8	54,7	39,3	6,0
Egyesült Királyság	39 606,9	4 145,4	570,7	44 323,0	89,4	9,4	1,3
Görögország	32 973,6	0,0	944,0	33 917,6	97,2	0,0	2,8
Horvátország	18 859,1	0,0	3 809,9	22 669,0	83,2	0,0	16,8
Magyarország	23 760,2	3 850,9	69,3	27 680,4	85,8	13,9	0,3

Ország	Egy főre jutó fosszilis energia (kWh)	Egy főre jutó nukleáris energia (kWh)	Egy főre jutó megújuló energia (kWh)	Összesen	Fosszilis arány (%)	Nukleáris arány (%)	Megújuló arány (%)
Írország	45 528,8	0,0	1 040,8	46 569,6	97,8	0	2,2
Izland	36 687,5	0,0	84 617,1	121 304,7	30,2	0	69,8
Olaszország	34 008,4	0,0	2 472,8	36 481,2	93,2	0	6,8
Litvánia	16 304,2	11 266,4	296,9	27 867,5	58,5	40,4	1,1
Luxemburg	96 728,5	0,0	1 006,8	97 735,4	99	0	1
Lettország	14 516,0	0,0	3 119,3	17 635,3	82,3	0	17,7
Észak-Macedónia	12 666,0	0,0	1 070,1	13 736,1	92,2	0	7,8
Hollandia	63 691,0	682,7	772,9	65 146,6	97,8	1	1,2
Norvégia	36 309,8	0,0	83 431,4	119 741,2	30,3	0	69,7
Lengyelország	25 652,0	0,0	212,0	25 864,0	99,2	0	0,8
Portugália	25 701,7	0,0	2 761,0	28 462,7	90,3	0	9,7
Románia	17 503,9	713,1	2 163,4	20 380,4	85,9	3,5	10,6
Szlovákia	29 812,8	9 354,9	2 950,9	42 118,6	70,8	22,2	7
Szlovénia	28 390,8	7 805,0	5 038,7	41 234,6	68,9	18,9	12,2
Svédország	27 955,5	21 372,6	23 391,9	72 720,0	38,4	29,4	32,2
Törökország	11 517,4	0,0	1 502,8	13 020,2	88,5	0	11,5
Ukrajna	27 234,8	4 553,1	587,0	32 374,9	84,1	14,1	1,8

Forrás: Global Material Flows Database (2024) alapján a szerzők szerkesztése

2. táblázat: Az európai országok egy főre jutó energiat fogyasztása 2022-ben
Per capita energy consumption in European countries in 2022

Ország	Egy főre jutó fosszilis energia (kWh)	Egy főre jutó nukleáris energia (kWh)	Egy főre jutó megújuló energia (kWh)	Összesen	Fosszilis arány (%)	Nukleáris arány (%)	Megújuló arány (%)
Ausztria	27 159,9	0,0	15 210,7	42 370,6	64,1	0,0	35,9
Belgium	43 711,6	9 418,1	5 713,4	58 843,0	74,3	16,0	9,7
Bulgária	23 545,3	6 072,7	3 899,3	33 517,3	70,2	18,1	11,6
Fehéroroszország	29 259,1	1 229,4	380,4	30 868,8	94,8	4,0	1,2
Svédország	15 619,0	6 615,7	10 748,8	32 983,4	47,4	20,1	32,6
Csehország	32 759,7	7 395,7	2 894,4	43 049,8	76,1	17,2	6,7
Németország	31 151,6	1 041,6	8 325,8	40 519,0	76,9	2,6	20,5
Dánia	19 704,5	0,0	13 363,4	33 067,9	59,6	0,0	40,4
Spanyolország	23 096,9	3 082,1	6 817,5	32 996,5	70,0	9,3	20,7
Észtország	41 223,4	0,0	6 372,3	47 595,8	86,6	0,0	13,4
Finnország	25 790,7	11 439,9	19 541,6	56 772,1	45,4	20,2	34,4
Franciaország	18 967,5	11 409,5	4 567,9	34 944,9	54,3	32,6	13,1
Egyesült Királyság	22 270,8	1 768,6	5 524,6	29 563,9	75,3	6,0	18,7
Görögország	24 323,2	0,0	5 667,6	29 990,7	81,1	0,0	18,9
Horvátország	17 103,0	0,0	5 952,1	23 055,1	74,2	0,0	25,8
Magyarország	20 338,4	3 968,8	2 129,6	26 436,8	76,9	15,0	8,1

Ország	Egy főre jutó fosszilis energia (kWh)	Egy főre jutó nukleáris energia (kWh)	Egy főre jutó megújuló energia (kWh)	Összesen	Fosszilis arány (%)	Nukleáris arány (%)	Megújuló arány (%)
Írország	29 604,4	0,0	6 902,4	36 506,8	81,1	0,0	18,9
Izland	31 408,0	0,0	138 979,1	170 387,1	18,4	0,0	81,6
Olaszország	24 294,4	0,0	4 600,8	28 895,2	84,1	0,0	15,9
Litvánia	20 133,8	0,0	3 020,5	23 154,3	87,0	0,0	13,0
Luxemburg	53 171,4	0,0	4 395,3	57 566,8	92,4	0,0	7,6
Lettország	15 091,7	0,0	5 582,2	20 673,9	73,0	0,0	27,0
Észak-Macedónia	12 651,0	0,0	1 979,0	14 630,0	86,5	0,0	13,5
Hollandia	45 617,5	592,0	7 497,7	53 707,2	84,9	1,1	14,0
Norvégia	28 682,9	0,0	68 610,0	97 293,0	29,5	0,0	70,5
Lengyelország	26 873,6	0,0	2 577,3	29 450,9	91,2	0,0	8,8
Portugália	18 013,1	0,0	7 243,0	25 256,1	71,3	0,0	28,7
Románia	13 507,9	1 411,2	3 150,2	18 069,3	74,8	7,8	17,4
Szlovákia	21 627,7	7 057,5	2 844,1	31 529,3	68,6	22,4	9,0
Szlovénia	21 175,5	6 615,5	5 083,4	32 874,4	64,4	20,1	15,5
Svédország	15 088,2	12 318,7	29 873,1	57 280,0	26,3	21,5	52,2
Törökország	18 837,5	0,0	4 252,7	23 090,3	81,6	0,0	18,4
Ukrajna	11 113,4	3 911,2	1 234,4	16 259,0	68,4	24,1	7,6

Forrás: Global Material Flows Database (2024) alapján a szerzők szerkesztése

Az országok klaszterekbe sorolása a vizsgált államok nagy száma miatt grafikusan nem lett volna informatív, ezért az energiafelhasználás szerkezete alapján deciliseket alkalmaztunk. Egy-egy ország energiafogyasztása akkor került a következő decilisbe, ha meghaladta az előző decilis felső határértékét. A 3. táblázat az európai országok energiafelhasználási mintázatait mutatja be 2002-ben, hat klaszterre osztva őket a fosszilis, a nukleáris és a megújuló energia aránya alapján. Az alábbiakban részletesen bemutatjuk az egyes klaszterek jellemzőit.

1. klaszter: Vegyes energiahasználat

Ausztria, Csehország, Németország, Dánia, Spanyolország, Észtország, Finnország, az Egyesült Királyság, Görögország, Írország és Olaszország szerepelt az első klaszterben. Magas fosszilisenergia-felhasználásuk (6–9. decilis) mellett jelentős arányban alkalmaztak megújuló energiát (4–9. decilis). A nukleáris energia használatában ugyanakkor különböztek: Finnország kiemelkedően magas (10. decilis), míg például Ausztria és Dánia alacsonyabb szinten (1–5. decilis) alkalmazta. Energiapolitikájuk egyensúlyra törekedett, kombinálta a fosszilis és megújuló forrásokat, miközben a nukleáris energia szerepe országonként változott.

2. klaszter: Fosszilis és nukleáris energia dominanciája

Belgium és Hollandia ebbe a klaszterbe tartozott, mivel mindkét ország kiemelkedően magas fosszilisenergia-felhasználással rendelkezett (10. decilis), miközben a nukleáris energia is jelentős szerepet játszott (6–10. decilis). Ezzel szemben a megújuló energia aránya minimális (1–2. decilis). Energiaszerkezetük kevésbé diverzifikált, fosszilis és nukleáris forrásokra épült.

3. klaszter: Nukleáris és megújuló energia dominanciája

Svájc, Franciaország, Szlovénia, Svédország és Szlovákia mérsékelt vagy alacsony fosszilisenergia-felhasználással (3–6. decilis) rendelkeztek, miközben jelentős mértékben támaszkodtak a nukleáris (8–10. decilis) és a megújuló energiára (7–10. decilis). Svájc és Svédország kiemelkedően magas értékeket mutatott mindkét területen. Stratégiájuk a fosszilis energia csökkentésére, valamint a nukleáris és megújuló források előtérbe helyezésére irányult.

4. klaszter: Fosszilis energia dominanciája, alacsony diverzifikáció

Luxemburg ebbe a klaszterbe tartozott, mivel energiafelhasználása nagyrészt fosszilis forrásokra épült (10. decilis), míg a nukleáris energia szerepe alacsony (1–5. decilis), a megújuló energia aránya pedig mérsékelt maradt (4. decilis). Az ország energiaellátása kevésbé diverzifikált, elsősorban fosszilis energiahordozókra támaszkodott.

5. klaszter: Fosszilis energia alacsony, nukleáris és megújuló energia változó használata

Bulgária, Fehéroroszország, Horvátország, Magyarország, Litvánia, Lettország, Észak-Macedónia, Lengyelország, Portugália, Románia, Ukrajna és Törökország alacsony fosszilis energiafelhasználással rendelkeztek (1–4. decilis), miközben a nukleáris energia alkalmazása országonként eltért (1–9. decilis). A megújuló energia szerepe közepes, Horvátország esetében kiemelkedő (8. decilis). Ezek az országok csökkentették fosszilisenergia-függőségüket és egyre nagyobb hangsúlyt helyeztek a megújuló forrásokra, energiaszerkezetük diverzifikálódott.

6. klaszter: Megújulóenergia-fókusz

Ebben a klaszterben Izland és Norvégia szerepelt. A két ország kiemelkedően magas megújulóenergia-felhasználással rendelkezett (10. decilis), mérsékelt fosszilisenergia-használat (7. decilis) mellett, miközben nukleáris energiát alig alkalmaztak (1–5. decilis). Élén jártak a víz- és geotermikus energia integrációjában, energiellátásukat megújuló forrásokra alapozták.

A 4. táblázat az európai országok energiafelhasználási mintázatai alapján kialakított klasztereket tartalmazza 2022-ben. Minden klaszter az adott ország energiaforrás-felhasználási stratégiáját tükrözi, ami földrajzi, gazdasági és környezeti sajátosságaikból adódik.

1. klaszter: Vegyes energiahasználat

Ez a klaszter Ausztriát, Bulgáriát, Fehéroroszországot, Svájcot, Csehországot, Németországot, Dániát, Spanyolországot, Franciaországot, Nagy-Britanniát, Görögországot, Magyarországot, Írországot, Olaszországot, Litvániát, Lengyelországot, Portugáliát, Szlovákiát, Szlovéniát és Törökországot foglalja magába. Az országok közepes vagy magas fosszilisenergia-felhasználással rendelkeznek (3–9. decilis), miközben a megújuló energia aránya széles skálán mozog (2–9. decilis). A nukleáris energia szerepe országonként eltérő: Franciaország, Csehország és Szlovákia esetében jelentős (9–10. decilis), míg több országban nincs jelen (1–5. decilis). A klaszter jellemzője a kiegyensúlyozott, több lábbon álló energiamix.

2. klaszter: Fosszilis túlsúlyú energiamix

Belgium, Észtország és Hollandia tartozik ebbe a klaszterbe. Ezek az országok magas fosszilisenergia-felhasználással rendelkeznek (9–10. decilis). Belgium esetében a nukleáris energia szerepe is jelentős (9. decilis), míg Észtországban alacsony (1–5. decilis), Hollandiában pedig közepes (6. decilis). A megújuló energia aránya közepes (6–8. decilis), de a fosszilis energia továbbra is meghatározó az energiamixben.

3. táblázat: Egy főre jutó energiafogyasztás országoként 2002-ben, decilisek szerint
Per capita energy consumption by country in 2002, grouped by deciles

Klaszter	Ország	Fosszilis energia (decilis)	Nukleáris energia (decilis)	Megújuló energia (decilis)
1	Ausztria	7	1-5	9
	Csehország	8	7	4
	Németország	9	8	4
	Dánia	8	1-5	8
	Spanyolország	6	7	7
	Észtország	8	1-5	1
	Finnország	9	10	9
	Nagy Britannia	8	6	3
	Görögország	6	1-5	4
	Írország	9	1-5	5
	Olaszország	8	1-5	6
2	Belgium	10	10	2
	Hollandia	10	6	1
3	Svájc	3	10	9
	Franciaország	5	10	8
	Szlovénia	5	8	8
	Svédország	6	10	10
	Szlovákia	6	8	7
4	Luxemburg	10	1-5	4
5	Bulgária	3	8	3
	Fehéroroszország	3	1-5	1
	Horvátország	2	1-5	8
	Magyarország	3	6	1
	Litvánia	2	9	2
	Lettország	1	1-5	6
	Észak-Macedónia	2	1-5	5
	Lengyelország	4	1-5	2
	Portugália	4	1-5	7
	Románia	2	6	6
Ukrajna	4	7	4	
Törökország	1	7	5	
6	Izland	7	1-5	10
	Norvégia	7	1-5	10

Forrás: Global Material Flows Database (2024) alapján a szerzők szerkesztése

3. klaszter: Nukleáris és megújulóenergia-fókusz

Finnország és Svédország alkotja ezt a klasztert. Mindkét országban kiemelkedő a nukleáris energia szerepe (10. decilis), valamint magas a megújulóenergia-felhasználás is (9–10. decilis). A fosszilis energia aránya mérsékelt vagy alacsony (2–7. decilis). Energiastratégiájuk a dekarbonizált források kombinációjára épül.

4. klaszter: Fosszilis energia dominanciája, alacsony diverzifikáció

Luxemburg tartozik ebbe a klaszterbe. Az ország fosszilisenergia-felhasználása a legmagasabb decilisbe esik (10. decilis), miközben nukleáris energiát nem alkalmaz (1–5. decilis), a megújuló energia aránya pedig mérsékelt (4. decilis). Ez az energiaszerkezet alacsony diverzifikációt jelez, amelyben a fosszilis energiaforrások dominálnak. Ennek következtében Luxemburg energiefelhasználási mintázata jelentősen eltér a többforrású, kiegyensúlyozott energiamixet alkalmazó országokétól.

5. klaszter: Alacsony energiahasználat

Horvátország, Lettország, Észak-Macedónia, Románia és Ukrajna tartozik ebbe a klaszterbe. Ezek az országok alacsony fosszilisenergia-felhasználással rendelkeznek (1–3. decilis). A nukleáris energia szerepe Románia és Ukrajna esetében közepes (6–7. decilis), míg a többi országban nem jellemző (1–5. decilis). A megújuló energia aránya közepes vagy alacsony (1–6. decilis). Energifelhasználásuk összességében mérsékelt.

6. klaszter: Megújulódominancia

Izland és Norvégia alkotja ezt a klasztert. Mindkét ország rendkívül magas megújulóenergia-felhasználással rendelkezik (10. decilis), miközben fosszilisenergia-felhasználásuk közepes vagy magas (8–9. decilis). Nukleáris energiát nem alkalmaznak (1–5. decilis). Energiastratégiájuk elsősorban vízenergiára és geotermikus energiaforrásokra épül.

Az eredmények azt mutatják, hogy egyes országok energiefelhasználási szerkezete hasonló mintázatokat követ, ami alátámasztja első hipotézisünket.

4. táblázat: Egy főre jutó energiafogyasztás országoként 2022-ben, decilisek szerint
Per capita energy consumption by country in 2022, grouped by deciles

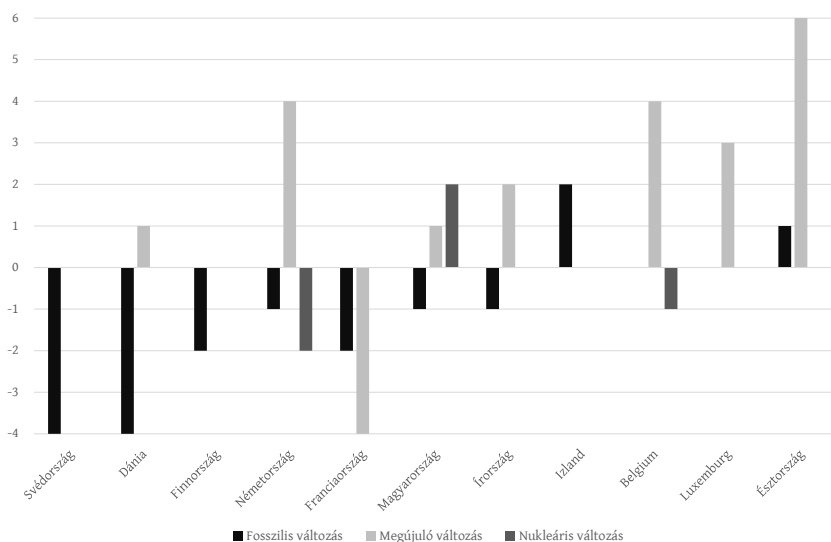
Klaszter	Ország	Fosszilis energia (decilis)	Nukleáris energia (decilis)	Megújuló energia (decilis)
1	Ausztria	7	1-5	9
	Bulgária	6	8	3
	Fehéroroszország	8	6	1
	Svájc	2	8	8
	Csehország	9	9	3
	Németország	8	6	8
	Dánia	4	1-5	9
	Spanyolország	6	7	7
	Franciaország	3	10	4
	Nagy-Britannia	5	7	5
	Görögország	6	1-5	6
	Magyarország	4	8	2
	Írország	8	1-5	7
	Olaszország	6	1-5	5
	Litvánia	4	1-5	3
	Lengyelország	7	1-5	2
	Portugália	3	1-5	8
	Szlovákia	5	9	2
	Szlovénia	5	8	5
	Törökország	3	1-5	4
2	Belgium	10	9	6
	Észtország	9	1-5	7
	Hollandia	10	6	8
3	Finnország	7	10	9
	Svédország	2	10	10
4	Luxemburg	10	1-5	4
5	Horvátország	3	1-5	6
	Lettország	2	1-5	6
	Észak-Macedónia	1	1-5	1
	Románia	1	6	3
	Ukrajna	1	7	1
6	Izland	9	1-5	10
	Norvégia	8	1-5	10

Forrás: Global Material Flows Database (2024) alapján a szerzők szerkesztése

Változások

Az országok energiafogyasztási szerkezete jelentős átalakuláson ment keresztül 2002 és 2022 között, amit elsősorban a fosszilis energia csökkenő és a megújuló energia növekvő aránya jellemez. A következőkben megvizsgáljuk, hogy a 2002. évi klaszterek országai mely klaszterekbe kerültek 2022-re. Néhány ország energiamixének változását mutatja az 1. ábra.

1. ábra: Néhány kiválasztott ország energiamixének változása, a decilisek tükrében (2002–2022)
Changes in the energy mix of selected countries across deciles (2002–2022)



Forrás: a szerzők szerkesztése

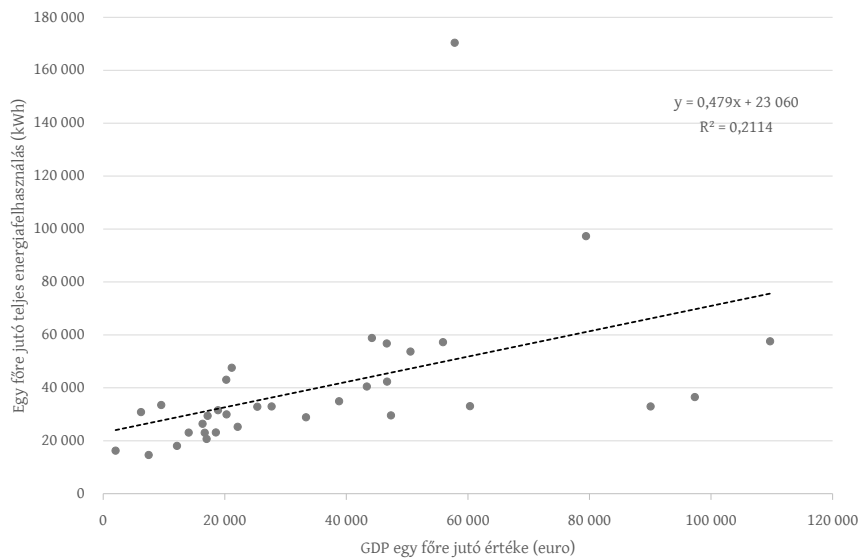
A 2002-ben Klaszter 1-be tartozó országok (Németország, Finnország, Dánia stb.) 2022-re több klaszterbe szóródtak szét. Németország és Dánia a 2022-es besorolás szerint az 1. klaszterbe (Vegyes energiastratégia) kerültek, azaz a fosszilis dominanciával jellemezhető vegyes felhasználók közé, míg Finnország a nukleáris és megújuló energia mixével a 3. klaszterbe került. Tehát ez a kezdeti, vegyes energiamixű, közepesen zöld klaszter fragmentálódott 2022-re. 2002-ben a Klaszter 2-be csak Belgium és Hollandia tartozott nagyon magas fosszilis aránnyal. Ezek az országok húsz évvel később is ugyanabba a klaszterbe tartoznak, de most már Észtországgal együtt. Ebben a klaszterben a megújuló energia szerepe minimális, az országok energiamixe főként fosszilis – és Belgium esetében nukleáris – forrásokra épül. A fosszilis energia magas aránya kihívást jelent a karbonsemlegesség elérésében, de erőfeszítéseket tesznek a megújuló energia integrálására. Ez azt jelzi, hogy megmaradt a magas fogyasztási profil, de némileg változott az energiaszerkezet.

A 2002-es Klaszter 3 alacsony fosszilis és magas megújuló és nukleáris energiamixú országai közül Svájc és Franciaország egyes energiafelhasználó lett, azaz energiamixükben nőtt a fosszilis energia részaránya. Svédország klaszterbesorolása változatlan: 2022-ben is megújuló és nukleáris túlsúly jellemezte. Az érintettek tehát nem estek ki teljesen az „elitből”, de többen visszafelé léptek, főként a fosszilis vagy a nukleáris energia felhasználását jellemző változások miatt. 2002-ben a Klaszter 4 egytagú volt: az extrém fogyasztó Luxemburg tartozott ide. Az ország energiafelhasználását a fosszilis dominancia jellemezte. A helyzet 2022-re sem változott, csupán annyit, hogy Luxemburg 2022-ben is önálló klasztert alkot, míg Belgium, Észtország és Hollandia a fosszilis dominanciájú 2. klaszterbe kerültek.

A Klaszter 5-be 2002-ben a poszt szocialista országok (Bulgária, Magyarország, Románia stb.) tartoztak. A fosszilis energia alacsony, a nukleáris és a megújuló energia változó használata jellemezte ezeket az országokat. 2022-re közülük legtöbben a 6. klaszterbe kerültek, a egyes energiafelhasználók közé. Néhányan (például Románia, Ukrajna, Lettország) 2022-re az alacsony energiafelhasználók klaszterébe léptek át. A trend tehát inkább összetömörülést, homogenizálódást jelez, de előrelépés is van. 2002-ben a megújuló energia extrém arányát mutató Izland és Norvégia alkotta a 6. klasztert. A két ország 2022-ben is közös klaszterben maradt, ami energiastratégiájuk hosszú távú stabilitását és a megújuló forrásokra épülő modell fenntarthatóságát jelzi.

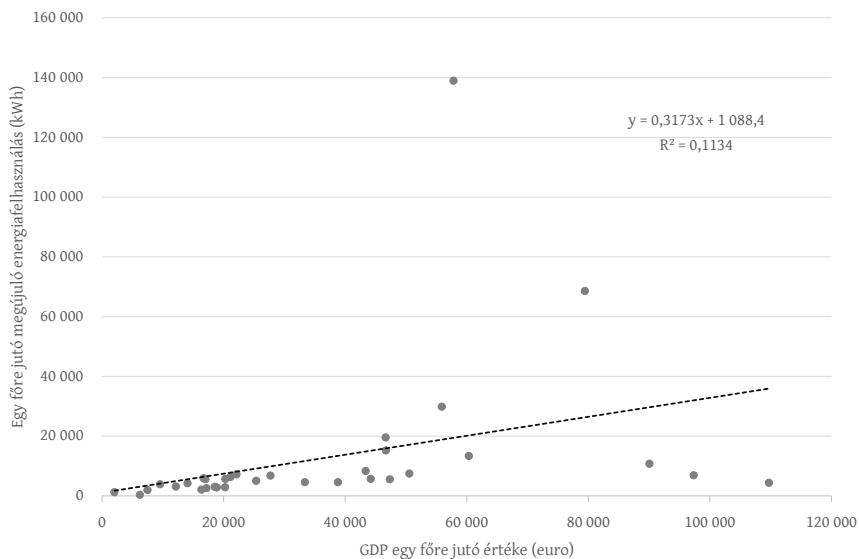
Vizsgáltuk az egy főre jutó, aktuális árakon számolt GDP (World Bank 2024) és a teljes energiafelhasználás, illetve a megújulóenergia-használat közötti kapcsolatot. Az adatok alapján az exponenciális összefüggés bizonyult megfelelőbbnek. A nem megfelelő lineáris kapcsolatot a 2. és 3. ábra szemlélteti. Öt kiugró értéket azonosítottunk. Izland és Norvégia esetében az energiafelhasználás mind a teljes, mind a megújuló forrásokból származó energia tekintetében kiemelkedően magas volt. Ezt a két ország hideg éghajlata és energiaintenzív iparágai (például alumíniumkohászat, kőolaj- és földgáztermelés) magyarázzák (Európai Számvevőszék 2017). Svájc, Luxemburg és Írország szintén eltértek a trendvonalától: ezekben az országokban a GDP alapján várható magas energiafelhasználás helyett alacsonyabb értékeket találtunk. Ez az energiahatékony gazdasági ágazatok – társadalmi konszenzus és politikai döntések eredményeként kialakult – dominanciájának köszönhető. Gazdaságuk a szolgáltató szektorra épül, amely kevesebb energiát igényel. Fejlett technológiáik és szigorú környezetvédelmi szabályozásaik is hozzájárulnak az energiahatékony-ság növeléséhez (MNB 2024).

2. ábra: A teljes energiafelhasználás és a GDP lineáris összefüggése, teljes mintán (2022)
 Linear relationship between total energy consumption and GDP, full sample (2022)



Forrás: a szerzők szerkesztése

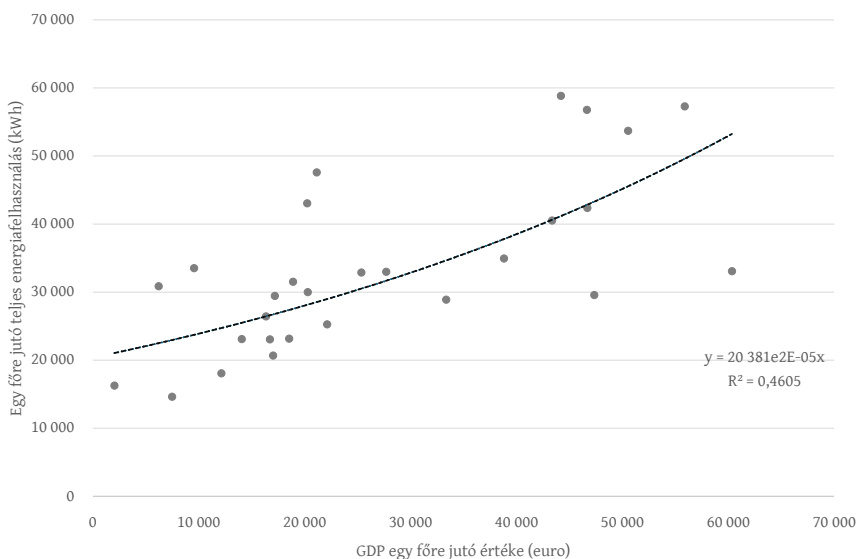
3. ábra: A megújulóenergia-felhasználás és a GDP lineáris összefüggése, teljes mintán (2022)
 Linear relationship between renewable energy consumption and GDP, full sample (2022)



Forrás: a szerzők szerkesztése

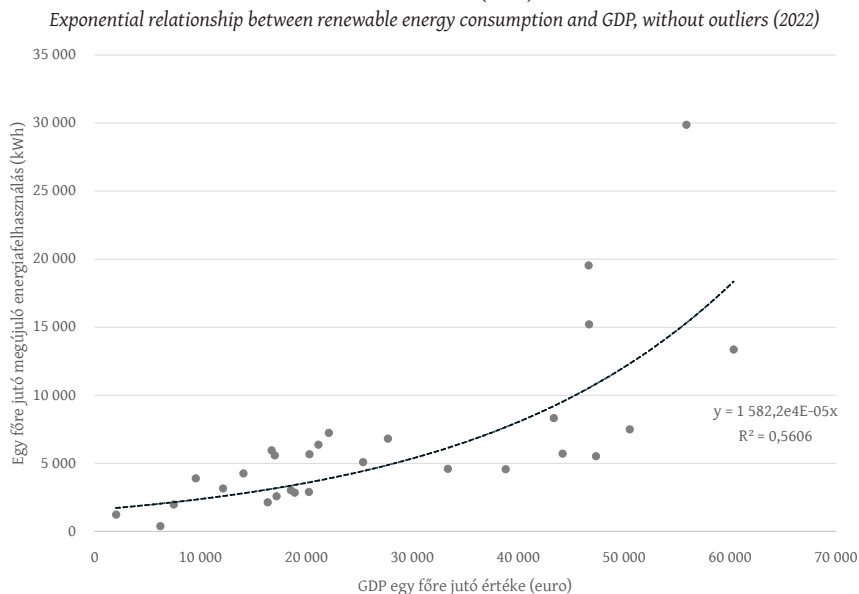
A 4-5. ábrán az exponenciális összefüggés látható, amelyből kihagytuk azokat az országokat, amelyek gazdaságszerkezeti és intézményi sajátosságaik miatt szignifikánsan eltérnek a GDP és az energiafelhasználás közötti általános mintázattól. Így második és harmadik hipotézisünket igazoltnak tekinthetjük. A negyedik hipotézisünk a 4. és 5. ábrán látható képletek ($y = 20381e^{2E-05x}$ és $y = 1582,2e^{4E-05x}$) alapján igazolódik: a 2022-es keresztmetszeti adatok alapján a megújulóenergia-felhasználás és a GDP közötti kapcsolat meredeksége nagyobb, mint a teljes energiafelhasználás esetében, ami arra utal, hogy a magasabb GDP-szintű országok relatíve nagyobb arányban integrálnak megújuló forrásokat.

4. ábra: A teljes energiafelhasználás és a GDP exponenciális összefüggése, outlierek nélkül (2022)
Exponential relationship between total energy consumption and GDP, without outliers (2022)



Forrás: a szerzők szerkesztése

5. ábra: A megújulóenergia-felhasználás és a GDP exponenciális összefüggése, outlierek nélkül (2022)



Forrás: a szerzők szerkesztése

Diszkusszió

Számos tanulmány igazolja, hogy az energiaátmenet magas beruházási költségekkel, infrastrukturális akadályokkal és geopolitikai kihívásokkal jár, azonban mégis elengedhetetlen a fenntartható energiarendszerek kialakításához (Loaiciga 2011). Az átállást nemcsak technológiai, hanem társadalmi és gazdasági tényezők is befolyásolják: ilyen például a népességnövekedés, az urbanizáció, valamint a növekvő energiaigény (Jones, Warner 2016). Az országok eltérő politikai és gazdasági környezetben működnek, ami hatással van az energiaellátás decentralizációjára és az új technológiák elterjedésére (Geels et al. 2017). A környezeti Kuznets-görbe (EKC) elmélete szerint a gazdasági növekedés kezdetén az iparosodás növeli a szennyezést, de később a tiszta technológiák és szigorúbb környezetvédelmi szabályozások révén csökken annak mértéke (Adhikari, Niroula, Singh 2024). Ugyanakkor a kutatások szerint, ha célzott megújulóenergia-politikai intézkedések nem születnek, a szén-dioxid-kibocsátás folyamatosan növekszik (Ray, Aditya, Pal 2023). A német energiaátmenet példája megerősíti, hogy célzott megújulóenergia-politikával csökkenthető a függés a fosszilis tüzelőanyagoktól és növelhető az energiafüggetlenség (Atzler et al. 2023). Emellett a társadalmi támogatás és a fogyasztói attitűdök is kulcsszerepet játszanak az energiapolitikai döntésekben (Kappner, Letmathe, Weidinger 2023).

Az energiafogyasztás klaszterezése segíti a különböző országok energiastratégiáinak feltérképezését és az energiaátmenet követését. A megújuló technológiák bevezetése eltérő ütemben zajlik, ami befolyásolja a regionális energiapolitikákat (Gajdzik et al. 2024). A hatékony kormányzati beavatkozások elősegítik a megújuló energiaforrások elterjedését (Udemba, Tosun 2022). A fejlődő országokban is növekszik a megújuló energia alkalmazása (Akram et al. 2020), míg az európai vállalatok egyre nagyobb szerepet vállalnak a szektorban (Gajdzik et al. 2024). Az európai országok csökkentették a fosszilis tüzelőanyagok használatát és növelték a megújuló energia arányát, de a szabályozási környezet, a pénzügyi feltételek és az energiaforrások elérhetősége továbbra is eltéréseket eredményez (Martins et al. 2019).

Konklúzió

Az európai országok energiafelhasználási mintázatai azt mutatják, hogy a gazdasági növekedés nem feltétlenül jár együtt az energiafogyasztás arányos növekedésével. Luxemburg, Svájc és Írország példája igazolja, hogy tudásalapú, alacsony energiaigényű gazdasági szerkezettel fenntartható GDP-növekedés érhető el. A fenntarthatóság érdekében azonban nemcsak az energiafelhasználás csökkentése, hanem az energiaforrások diverzifikációja és az energiahatékonyság növelése is kulcsfontosságú. Gyakorlati szempontból a döntéshozóknak érdemes figyelemmel kísérni az azonos gazdasági és energiapolitikai mintázatokat mutató országokat, mivel tapasztalataik hozzájárulhatnak a hatékony energiagazdálkodási stratégiák kialakításához. Az azonos klaszterbe tartozó államok számára pedig a regionális együttműködés segítheti az energiafüggetlenség és fenntarthatóság előmozdítását.

Kutatásunk korláta, hogy az energiatermelés szerkezetét nem vizsgáltuk, csupán az energiafelhasználás és a GDP kapcsolatát elemeztük. Az energiabiztonság és a fenntarthatóság átfogó értékeléséhez szükséges figyelembe venni az importfüggőséget és az energetikai infrastruktúrát is, ezért további kutatásokra van szükség e területen. A jövő energiapolitikájának az egyensúlyra kell törekednie: biztosítani az energiabiztonságot, csökkenteni a környezeti terhelést és elősegíteni az alacsony karbonkibocsátású gazdaságra való áttérést. Az elemzésben alkalmazott regressziós modellek kizárólag a GDP és az energiafelhasználás közötti összefüggést vizsgálják, anélkül, hogy figyelembe vennék az országspecifikus gazdasági szerkezetet, ipari profilt vagy technológiai fejlettséget. Ezért a tanulmány másik korláta, hogy a kapott görbe nem determinisztikus kapcsolatot, hanem általános tendenciát jelez, ami nem alkalmazható mechanikusan minden országra. E korlátok kiiktatása a kutatás folytatását teszi szükségessé.

Irodalom

- Adhikari, R., Niroula, B., Singh, S. K. (2024): Navigating Nepal's Economic Growth and Carbon Emissions: Insights into the Environmental Kuznets Curve (EKC). *Nature Environment & Pollution Technology*, 3., 1221–1238. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2024.v23i03.001>
- Akram, R., Chen, F., Khalid, F., Ye, Z., Majeed, M. T. (2020): Heterogeneous effects of energy efficiency and renewable energy on carbon emissions: Evidence from developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 247., 119122. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119122>
- Arifin, D., Aston, V. J., Liang, X., McDaniel, A. H., Weimer, A. W. (2012): CoFe₂O₄ on a porous Al₂O₃ nanostructure for solar thermochemical CO₂ splitting. *Energy & Environmental Science*, 11., 9438–9443. <https://doi.org/10.1039/c2ee22090c>
- Atzler, F., Türck, J., Türck, R., Krahl, J. (2023): The Energy Situation in the Federal Republic of Germany: Analysis of the Current Situation and Perspectives for a Non-Fossil Energy Supply. *Energies*, 12., 4569. <https://doi.org/10.3390/en16124569>
- Azevedo dos Santos Silva, F. (2023): *Energy transition in Norway, Sweden, and Portugal: Reconciling conflicts between climate and environmental objectives in the context of hydropower production*. Master's thesis. UiT The Arctic University of Norway <https://hdl.handle.net/10037/33359> (Letöltés: 2026. 02. 22.)
- Azhari, A. R. A., Shukry, P. B. B., Zamrus, K. S., Rani, M. H. A. (2025): Legislating sustainability for renewable energy in Malaysia and Iceland. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 12., 4587–4597. <https://doi.org/10.47772/IJRISS.2024.8120385>
- Baranowski, M. (2024): Forces of energy welfare in Central Europe: The Russian war in Ukraine as a game changer. *Hungarian Geographical Bulletin*, 1., 89–101. <https://doi.org/10.15201/hungeo-bull.73.1.6>
- Benediktsson, K. (2021): Conflicting imaginaries in the energy transition? Nature and renewable energy in Iceland. *Moravian Geographical Reports*, 2., 88–100. <https://doi.org/10.2478/mgr-2021-0008>
- Brune, D. E., Lundquist, T. J., Benemann, J. R. (2009): Microalgal biomass for greenhouse gas reductions: Potential for replacement of fossil fuels and animal feeds. *Journal of Environmental Engineering*, 11., 1136–1144. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000100](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000100)
- Bucur, I., Axinte, P., Plescan, C., Șerban, A. (2021): Renewable energy sources potential evaluation in Romania. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1., 012007. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1138/1/012007>
- Caldés, N., Del Río, P., Lechón, Y., Gerbeti, A. (2018): Renewable energy cooperation in Europe: What next? Drivers and barriers to the use of cooperation mechanisms. *Energies*, 1., 70. <https://doi.org/10.3390/en12010070>
- Charmasson, J., Belsnes, M., Andersen, O., Eloranta, A., Graabak, I., Korpås, M., Helland, P. I., Sundt, H., Wolfgang, O. (2018): *HydroBalance roadmap for large-scale balancing and energy storage from Norwegian hydropower: Opportunities, challenges and needs until 2050*. SINTEF Energy Research/Centre for Environmental Design of Renewable Energy (CEDREN), Trondheim https://www.cedren.no/Portals/Cedren/Pdf/HydroBalance/cedren_veikart_web%20%281%29.pdf (Letöltés: 2026. 03. 16.)
- Chitu, F., Mecu, A.-N., Marin, G. I. (2024): ROMANIA - An integrated part of the European energy transition process. *Proceedings of 24th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 5.1. <https://doi.org/10.5593/sgem2024/5.1/s21.75>
- Ciupageanu, D.-A., Lazaroiu, G., Mihaescu, L. (2021): Structure of the energy produced from renewable sources. In: Lazaroiu, G., Mihaescu, L. (eds): *Innovative Renewable Waste Conversion Technologies*. Springer, Cham, 1–19. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81431-1_1
- D'Orazio, P., Dirks, M. W. (2022): Exploring the effects of climate-related financial policies on carbon emissions in G20 countries: A panel quantile regression approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 5., 7678–7702. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15655-y>

- Dogan, E., Ozturk, I. (2017): The influence of renewable and non-renewable energy consumption and real income on CO₂ emissions in the USA: Evidence from structural break tests. *Environmental Science and Pollution Research*, 24., 10846–10854. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8786-y>
- Ernst, D. (2021): *Elements of concern regarding a total nuclear phase-out in 2025 in Belgium*. Chamber of Representatives, Belgium <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/265408/1/Chamber-Representatives-Talk-Ernst.pdf> (Letöltés: 2026. 02. 22.)
- EEA (2022a): *Trends and projections: Limited growth in EU emissions amid post-pandemic recovery and energy crisis*. European Environment Agency, Copenhagen <https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/news/trends-and-projections> (Letöltés: 2026. 02. 22.)
- EEA (2022b): *Trends and projections in Europe 2022: Tracking progress towards Europe's climate and energy targets*. European Environment Agency, Copenhagen <https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2022> (Letöltés: 2026. 03. 16.)
- EP/EC (2018): *Amendment of Directive 2012/27/EU on energy efficiency*. European Parliament and European Council <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32018L2002> (Letöltés: 2026. 02. 22.)
- Európai Számvevőszék (2017): *Az energiaügyekkel és éghajlatváltozással kapcsolatos uniós fellépés*. Európai Unió Kiadóhivatala, Luxembourg https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/LR17_01/LR_ENERGY_AND_CLIMATE_HU.pdf (Letöltés: 2026. 02. 23.)
- Faninger, G. (2003): Towards sustainable development in Austria: Renewable energy contributions. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 8., 177–188. <https://doi.org/10.1023/A:1026010514567>
- Fingerman, K. R., Nabuurs, G. J., Iriarte, L., Fritsche, U. R., Staritsky, I., Visser, L., Thuy, M-M., Junginger, M. (2019): Opportunities and risks for sustainable biomass export from the south-eastern United States to Europe. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 2., 281–292. <https://doi.org/10.1002/bbb.1845>
- Gajdzik, B., Nagaj, R., Wolniak, R., Bałaga, D., Żuromskaitė, B., Grebski, W. W. (2024): Renewable Energy Share in European Industry: Analysis and Extrapolation of Trends in EU Countries. *Energies*, 11., 2476. <https://doi.org/10.3390/en17112476>
- Gao, Q., Liu, J., Elsworth, D. (2024): Phenomenal study of microbial impact on hydrogen storage in aquifers: A coupled multiphysics modelling. *International Journal of Hydrogen Energy*, 79., 883–900. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.07.004>
- Geels, F. W., Sovacool, B. K., Schwanen, T., Sorrell, S. (2017): The Socio-Technical Dynamics of Low-Carbon Transitions. *Joule*, 3., 463–479. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.09.018>
- Geissler, S., Arevalo-Arizaga, A., Radlbauer, D., Wallisch, P. (2022): Linking the National Energy and Climate Plan with municipal spatial planning and supporting sustainable investment in renewable energy sources in Austria. *Energies*, 2., 645. <https://doi.org/10.3390/en15020645>
- Global Material Flows Database (2024). <https://www.resourcepanel.org/global-material-flows-database> (Letöltés: 2026. 02. 23.)
- Hansen, S. T., Moe, E. (2022): Renewable energy expansion or the preservation of national energy sovereignty? Norwegian renewable energy policy meets resource nationalism. *Political Geography*, 99., 102760. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2022.102760>
- Hebda, W. (2023): Fossil fuels in the energy transition – the case of Romania. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, 4., 85–106. <https://doi.org/10.24425/gsm.2023.148159>
- Hoffacker, M. K., Hernandez, R. R. (2020): Local energy: Spatial proximity of energy providers to their power resources. *Frontiers in Sustainability*, 1., 585110. <https://doi.org/10.3389/frsust.2020.585110>
- Isola, C., Sieverding, H. L., Asato, C. M., Gonzalez-Estrella, J., Litzen, D., Gilcrease, P. C., Stone, J. J. (2018): Life cycle assessment of portable two-stage anaerobic digestion of mixed food waste and cardboard. *Resources, Conservation and Recycling*, 139., 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.08.008>
- Jones, G. A., Warner, K. J. (2016): The 21st century population-energy-climate nexus. *Energy Policy*, 93., 206–212. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.02.044>

- Kappner, K., Letmathe, P., Weidinger, P. (2023): Causes and effects of the German energy transition in the context of environmental, societal, political, technological, and economic developments. *Energy, Sustainability and Society*, 28. <https://doi.org/10.1186/s13705-023-00407-2>
- Kauw, M., Benders, R. M. J., Visser, C. (2015): Green methanol from hydrogen and carbon dioxide using geothermal energy and/or hydropower in Iceland or excess renewable electricity in Germany. *Energy*, 1., 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.002>
- Kröger, W., Sornette, D., Ayoub, A. (2020): Towards safer and more sustainable ways for exploiting nuclear power. *World Journal of Nuclear Science and Technology*, 3., 91–115. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000465349>
- Kunsch, P. L., Friesewinkel, J. (2014): Nuclear energy policy in Belgium after Fukushima. *Energy Policy*, 66., 462–474. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.035>
- Laleman, R., Albrecht, J. (2016): Belgian blackout? Estimations of the reserve margin during the nuclear phase-out. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 81., 416–426. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.02.048>
- Lawford, H. L. (2023): *Winds of Change: Discourse Collisions and Coalitions in the Fosen Vind Case*. Master's thesis. Centre for the Study of the Sciences and the Humanities, University of Bergen
- Liu, Y., Xie, X., Wang, M. (2023): Energy structure and carbon emission: Analysis against the background of the current energy crisis in the EU. *Energy*, 280., 128129. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128129>
- Loáiciga, H. A. (2011): Challenges to phasing out fossil fuels as the major source of the world's energy. *Energy & Environment*, 6., 659–679. <https://doi.org/10.1260/0958-305X.22.6.659>
- Malins, C. (2013): A model-based quantitative assessment of the carbon benefits of introducing iLUC factors in the European Renewable Energy Directive. *Global Change Biology Bioenergy*, 6., 639–651. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2012.01207.x>
- Martins, F., Felgueiras, C., Smitkova, M., Caetano, N. (2019): Analysis of fossil fuel energy consumption and environmental impacts in European countries. *Energies*, 6., 964. <https://doi.org/10.3390/en12060964>
- Meinke-Hubeny, F., de Oliveira, L. P. N., Duerinck, J. (2017): *Energy transition in Belgium – Choices and costs*. EnergyVille https://energyville.be/wp-content/uploads/2024/05/energyville_energy_transition_in_belgium_choices_and_costs_final_27apr2017_pverratum_0.pdf (Letöltés: 2026. 02. 23.)
- MNB (2024): *Termékekenségi jelentés*. Magyar Nemzeti Bank, Budapest
- Nagaj, R., Gajdzik, B., Wolniak, R., Grebski, W. W. (2024): The impact of deep decarbonization policy on the level of greenhouse gas emissions in the European Union. *Energies*, 5., 1245. <https://doi.org/10.3390/en17051245>
- Paraschiv, L. S., Paraschiv, S. (2023): Contribution of renewable energy (hydro, wind, solar, and biomass) to decarbonization and transformation of the electricity generation sector for sustainable development. *Energy Reports, Suppl.* 9., 535–544. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.07.024>
- Pilpola, S., Lund, P. D. (2018): Effect of major policy disruptions in energy system transition: Case Finland. *Energy Policy*, 116., 323–336. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.02.028>
- Pisică, A., Davidescu, A. A. M., Agafiței, M. D., Bolboacă, M. B., Gheorghe, M. (2024): Transition trajectory: VAR projections of Romania's shift to renewable energy. *Journal of Social and Economic Statistics*, 1. <https://doi.org/10.2478/jses-2024-0004>
- Ray, S., Aditya, I., Pal, M. K. (2023): The influence of energy consumption, economic growth, industrialisation and corruption on carbon dioxide emissions: Evidence from selected Asian economies. In: Pal, M. K. (ed.): *The Impact of Environmental Emissions and Aggregate Economic Activity on Industry: Theoretical and Empirical Perspectives*, Emerald Publishing Limited, 93–110. <https://doi.org/10.1108/978-1-80382-577-920231008>
- Rehm, T. E. (2023): Advanced nuclear energy: the safest and most renewable clean energy. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 39., 100878. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2022.100878>
- Selçuklu, S. B., Rodgers, M. D., Movlyanov, A. (2022): Economically and environmentally sustainable long-term power system expansion. *Computers & Industrial Engineering*, 164., 107892. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107892>

- Shah, M. A. H., Ximei, W. (2024): Innovating for sustainability: Exploring the synergy between international digital trade, appeal mechanisms, renewable energy, and economic growth on ecological footprint in BRICST economies. *Environment, Development and Sustainability*, 1–26. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05252-7>
- Sivonen, M. H., Kivimaa, P. (2024): Politics in the energy-security nexus: An epistemic governance approach to the zero-carbon energy transition in Finland, Estonia, and Norway. *Environmental Sociology*, 1., 55–72. <https://doi.org/10.1080/23251042.2023.2251873>
- Spittler, N., Davidsdottir, B., Shafiei, E., Leaver, J., Asgeirsson, E. I., Stefansson, H. (2020): The role of geothermal resources in sustainable power system planning in Iceland. *Renewable Energy*, 153., 1081–1090. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.046>
- Tverijonaite, E., Sæþórsdóttir, A. D. (2024): Hydro, wind, and geothermal: Navigating the compatibility of renewable energy infrastructure with tourism. *Tourism and Hospitality*, 1., 16–31. <https://doi.org/10.3390/tourhosp5010002>
- Udemba, E. N., Tosun, M. (2022): Moderating effect of institutional policies on energy and technology towards a better environment quality: A two-dimensional approach to China's sustainable development. *Technological Forecasting and Social Change*, 183., 121964. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121964>
- Véliz, K. D., Busco, C., Walters, J. P., Esparza, C. (2025): Circular Economy for Construction and Demolition Waste in the Santiago Metropolitan Region of Chile: A Delphi Analysis. *Sustainability*, 3., 1057. <https://doi.org/10.3390/su17031057>
- UN (1987): *Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development* (Brundtland Report). <https://www.brundtland.co.za/wp-content/uploads/2022/08/Brundtland-Report-1987-Our-Common-Future.pdf> (Letöltés: 2026. 02. 23.)
- Wang, H., Di Pietro, G., Wu, X., Lahdelma, R., Verda, V., Haavisto, I. (2018): Renewable and sustainable energy transitions for countries with different climates and renewable energy sources potentials. *Energies*, 12., 3523. <https://doi.org/10.3390/en11123523>
- World Bank (2024): GDP per capita (current USD). https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CDname_desc=false&fbclid=IwY2xjawIQZsRleHRuA2FlbQIxMAABHeZany228omvDqAR7kbbI_lPx10NZcG8U-uX78BLth1ktw0b-M5gNQPRcQ_aem_xkgwZ5aMS7OnukYTjkA7Ag (Letöltés: 2026. 02. 23.)
- Wurster, S., Hagemann, C. (2020): Expansion of Renewable Energy in Federal Settings: Austria, Belgium, and Germany in Comparison. *The Journal of Environment & Development*, 1., 147–168. <https://doi.org/10.1177/1070496519887488>