

ENERGIAPIACI TRENDEK A KÖZELMÚLTBELI ESEMÉNYEK TÜKRÉBEN: FÓKUSZBAN A VILLAMOS ENERGIA

Herczeg Balázs – Pintér Éva

Absztrakt: Az Európai Unió (EU) az energiaátmenet felé irányuló törekvését ambiciózus kezdeményezésekkel kívánja elősegíteni, amelyek célja a megújuló energiaforrásokra való fokozott támaszkodás növelése, a klímaváltozás kezelése és a tiszta energia előállításának támogatása. Ugyanakkor, a megújuló energiaforrások, például a szél- és napenergia integrálása az energiamixbe átalakítja a piaci dinamikákat. E tanulmány célja az elmúlt évtized nagykereskedelmi villamosenergia-árak alakulásának és a megújuló energiák trendjeinek bemutatása, a nagykereskedelmi villamosenergia-piac áttekintése és a villamosenergia-árakat befolyásoló kulcsfontosságú tényezők beazonosítása. Az EU villamosenergia-piacain ún. merit order mechanizmus működik, ahol az erőművek által termelt források igénybevétele a határköltségek növekvő sorrendje alapján történik. Ezt a mechanizmust jelentősen befolyásolja az alacsony határköltségű megújuló energia növekvő aránya, ami potenciálisan csökkentheti a nagykereskedelmi villamosenergia-árakat. Azonban a megújuló energiaforrások, melyeknek termelési hatékonysága nagyban függ az időjárási körülményektől volatilitást is eredményeznek, ami rugalmasan kezelhető tartalék kapacitás kiépítését teszi szükségessé. Ezt gyakran gáztüzelésű erőművek szolgáltatják, amely viszont befolyásolja a gázkeresletet és -árat is. A 2020-as évek eleje, amelyet világjárvány és háború jellemzett, szemlélteti az ilyen jellegű válságoknak az energiapiacokra gyakorolt mélyreható hatásait, kiemelve a globális energiarendszerek egymástól való függőségét és az EU gázimporttal kapcsolatos sebezhetőségét, az áringadozások pedig mind a piaci stabilitásra, mind a fogyasztói megfizethetőségre nézve kihívásokat generálnak. Ilyen válságokkal teli időkben az energiatrilemma problémaköre – azaz a fenntarthatóság, a megfizethetőség és az ellátásbiztonság közötti egyensúly megteremtése – egyre nehezebben megoldhatóvá válik. Annak ellenére, hogy ez az energiaátmenet egy összetett folyamat, elengedhetetlen a bolygónk és a jövő generációk jólétének megőrzése érdekében.

Abstract: The European Union's (EU) drive toward energy transition is underscored by vigorous initiatives that aim to increase reliance on renewables, address climate change, and support cleaner energy production. However, integrating renewables like wind and solar into the energy portfolio transforms market dynamics. The objective of this study is to assess the past decades trends in wholesale electricity price developments and renewable energies, review the wholesale electricity market and identify the key factors affecting electricity prices. The merit order mechanism in the EU's electricity markets, where electricity supply sources are dispatched based on ascending order of marginal costs, has been significantly impacted by the increasing share of low-marginal-cost renewable energy, potentially lowering wholesale electricity prices. Yet, the intermittent nature of renewables introduces volatility, necessitating flexible backup options, often provided by gas-fired plants, which in turn influences gas demand and pricing. The early 2020s, marked by a pandemic and warfare, have illustrated the profound effects that such crises can have on energy markets, underlining the interdependence of global energy systems and the EU's vulnerability concerning gas imports, with price fluctuations becoming a notable concern for both market stability and consumer affordability. During such challenging times, the energy trilemma – balancing sustainability, affordability, and security – becomes increasingly difficult. Despite its complexities, this energy transition is crucial for the well-being of our planet and future generations.

Kulcsszavak: energia piacok, villamosenergia-árak, megújuló energia, energiaválság

Keywords: energy markets, electricity prices, renewable energy, energy crisis

1. Bevezetés

Az Európai Unió (EU) villamosenergia piacát alapvetően a liberalizáció, a fenntarthatóság és az ellátásbiztonság felé irányuló stratégiai törekvés jellemezi, melyek közül a 2000-es évek elején az első kettő volt főleg a fókuszban. Így az EU-s irányelvek és intézkedések célja egy integráltabb energiapiac létrehozása volt, a dereguláció a monopóliumok felszámolását és a verseny ösztönzését segítette elő, mely a fogyasztók számára kedvezőbb árakhoz és szolgáltatásokhoz való jutást jelentett (Buchan–Keay, 2016).

Mindeközben a hagyományos, nem megújuló energiaforrások negatív környezeti hatásainak redukálása egyre jobban a figyelem középpontjába került. A fenntarthatóság témaköre tehát szintén az EU energiapolitikájának sarokkövévé vált, és az éghajlatváltozásból fakadó globális kihívásokra adott válaszként egyre nagyobb hangsúlyt fektettek a megújuló energiaforrások terjedésének támogatására. Emellett a külső energiaforrásoktól, különösen a földgáztól és a kőolajtól való függőség arra készítette az uniót, hogy az energiaforrások és az ellátási csatornák diverzifikálására is összpontosítson. Ez magában foglalta az alternatív beszállítók felkutatását, belföldi beruházások ösztönzését és új infrastruktúrák kiépítését (Houtman–Reins, 2022).

A 2010-es évek elejét a 2007/2008-as pénzügyi válság és az azt követő euróövezeti adósságválság okozta nagy recesszióból való kilábalás határozta meg, mely jelentős hatással volt az energiapiacokra is. A recesszió átmenetileg lelassította a beruházásokat és a prioritásokat a gazdasági stabilizáció irányába tolta el. Ugyanakkor, a válság megerősítette az energiaátmenet, a piaci liberalizáció és az integrációs törekvések fontosságát is, és hosszú távon megteremtette a feltételeket egy rugalmasabb és fenntarthatóbb energiarendszer kialakításához. Ezért erre az évtizedre felvázolt energiastratégia is a fenntarthatóságra, illetve a versenyképességre összpontosított, például a megújuló energiaforrások növekvő elterjedésére, az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére, az atom- és szénerőművek fokozatos leállítására, az újabb energiahatékonysági intézkedések és támogatások bevezetésére (Szczepanski, 2019; Varro et al., 2020). Alapvetően ezen törekvések, valamint a gazdaság és a fogyasztói kereslet élénkülése befolyásolták az energiahordozó-árak, köztük a nagykereskedelmi villamosenergia-árak volatilitását.

A válságból kivezető út azonban váratlanul egy újabb válságba torkollott. A második évtized elejét az egész világot sújtó járvány és háborús állapotok határozták meg. Ez a válságokkal teli időszak gazdasági és társadalmi nehézségeket, bizonytalanságokat és kihívásokat hozott valamennyi ország számára, amely kihatott az energiapiacokra is. A kereslet ingadozása, az ellátási lánc megszakadása, az üzemanyagárak emelkedése és a folyamatosan változó makroökonómiai helyzetekre adott geopolitikai reakciók rendkívül volatilis és magas energiaárakat eredményeztek az EU-ban (Bompart et al., 2020; Tertre et al., 2023).

A jelenlegi energiaátmenet célja az, hogy a biztonság, a gazdaságosság és a fenntarthatóság közötti fenntartható egyensúly megtalálása révén megoldja az energiatrilemma problémáját, amelyből az energiabiztonság a közelmúlt geopolitikai helyzet miatt kiemelten fontossá vált. Ezek a külső körülmények és belső tényezők

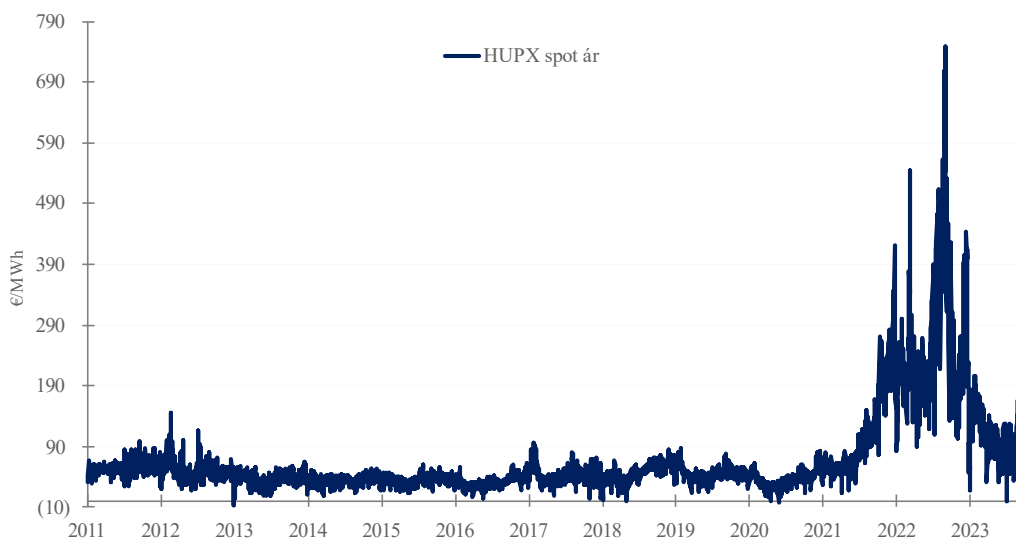
határozhatják meg a villamosenergia ár tendenciáit és a megújuló energiaforrások részarányát a mindenkori energiamixben (Tol, 2023).

Jelen tanulmány ismerteti az elmúlt évtized villamosenergia-piaci trendjeit, majd bemutatja annak működését, mely alapján meghatározhatóvá válnak az árat befolyásoló főbb mozgatórugók.

2. Villamosenergia-ár és megújuló energia trendek az elmúlt évtizedben

A 2007/2008-as pénzügyi válságot követően az európai spot villamos energia árak átlagosan egy 0 és 100 EUR/MWh terjedelemben mozogtak és átlagosan 22,45 EUR/MWh szórással rendelkeztek egészen a második évtized elejéig (2021. május 31-ig), melyet az 1. ábrán látható referenciaadat, a magyarországi szervezett villamosenergia-piacot működtető HUPX spot árfolyama is reprezentál. A második évtized eleje azonban új korszakot hozott, amikor is a társadalmakat és gazdaságokat széleskörűen érintő váratlan események hatására az energiahordozók árai - különösen a villamos energia, a földgáz és a szén árai tekintetében - ugrásszerűen megemelkedtek, és a villamos energia árak esetében soha nem látott szinteket értek el.

1. ábra: Napi átlagos HUPX spot árak (2011. január 1. – 2023. szeptember 30.)



Forrás: HUPX (é.n.) adatbázis alapján saját szerkesztés.

A viszonylagos nyugalmi időszakot követően a fordulópontot az új típusú SARS-CoV-2 koronavírus (COVID-19) által okozott világjárvány 2019 végi kitörése jelentette, mely villámgyorsan globális világjárvánnyá fejlődött. A vírus gyorsan terjedt, amely egészségügyi intézkedéseket, kormányzati beavatkozásokat, utazási korlátozásokat és a hatékony vakcinák kifejlesztéséért folytatott versenyt eredményezett. A társadalmat érintő korlátozó lépések ugyanakkor negatív hatással voltak a gazdaságra, a pandémia zavart okozott a kereskedelmi és ellátási láncokban, az üzletbezárásokkal megnőtt a munkanélküliség aránya, valamint csökkent az ipari

tevékenységek mértéke is. Mindezek következtében pedig visszaesett az elektromos energia iránti kereslet is, amely az árak átmeneti csökkenéséhez vezetett (International Energy Agency, 2023a; Zhong et al., 2020).

Azonban a vártnál hamarabb megtörtént a gazdasági fellendülés és növekedni kezdett a kereslet, amely újra emelkedő pályára helyezte az energiaárakat. Ezt a trendet fokozták többek között a szokatlan időjárási körülmények, az átlagosnál alacsonyabb EU-s földgáztárolási szint, valamint a beruházások, fejlesztések elmaradása. Ezek együttes hatásaként 2021-ben az energiaárak meredeken emelkedni kezdtek (Szénási, 2021).

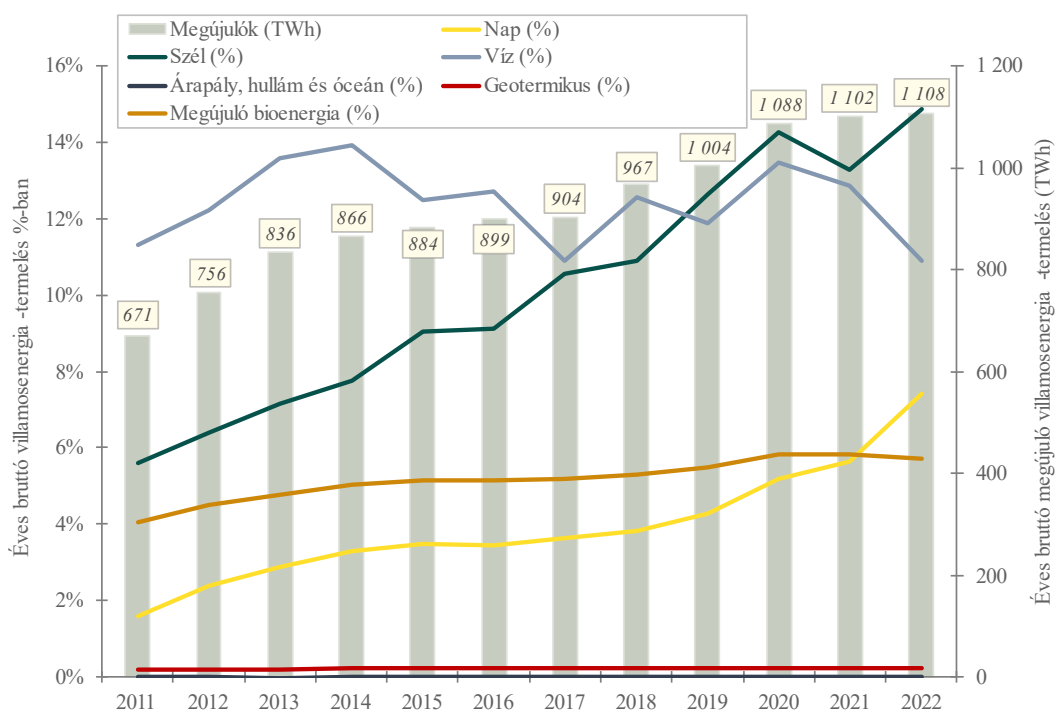
Az energiaválság tehát gyakorlatilag a COVID-19 világjárványból nőtte ki magát, és átfogó, globális energiaválságként tetőzött a következő geopolitikai válságeseeményt követően, amikor is 2022 februárjában kitört az orosz-ukrán háború. Ez a geopolitikai esemény felerősítette az EU energiabiztonságával és ellátási láncának stabilitásával kapcsolatos aggodalmakat, mivel az EU nagymértékben függött Oroszországtól a földgázellátás tekintetében. Így az esetleges bekövetkező ellátási zavarok, vagy az Oroszországgal szembeni energia ágazatot érintő szankciók növekvő valószínűsége bizonytalansághoz vezetett a piacon, ami szintén hozzájárult a földgázárak 2022-es megugrásához (International Energy Agency, 2023b). Mivel az energiahordozók árai között viszonylag nagy a kölcsönös összefüggés, így a magas földgázárak miatt a napi átlagos elektromos energia ára az EU-ban az egekbe szökött, ahogy az *1. ábrán* is látszódott, 2022. augusztus végén Magyarországon meghaladta a 730 EUR/MWh napi átlagértéket is.

Áttérve a megújuló energia trendekre, az EU-ban az elmúlt bő egy évtizedben az energiastratégia központi elemeként a fosszilis alapú erőforrásokról a megújuló energiaforrásokra való áttérés - a jelenlegi energiaátmenet - állt, amelynek célja az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése, az éghajlatváltozás elleni küzdelem, valamint a nagyobb energiabiztonság és fenntarthatóság elérése. A Kiotói Jegyzőkönyv, az EU kibocsátáskereskedelmi rendszerének (EU Emission Trading System, EU ETS) bevezetése vagy a megújuló energiaforrásokról szóló direktívák kialakítása (Renewable Energy Directive I-II) csak néhány példa az EU fenntartható energiára való áttérésére irányuló erőfeszítéseire (Houtman–Reins, 2022; Tóth–Bencs, 2023). A megújuló energiaforrások részaránya a 2000-es évek eleje óta folyamatosan növekszik, de különösen a második évtized kezdetétől, mivel az EU tagjai ekkor fogadták el azt a kötelező célt, hogy 2020-ra a végső energiafogyasztás 20%-át megújuló energiaforrásokból származó energiából kell előállítani, az üvegházhatású gázok kibocsátásának 20%-os csökkentése és az energiahatékonyság 20%-os növelése mellett (European Commission, 2010). Ezek a kötelezettségvállalások megsokszorozták a megújuló energiaforrások növekedési ütemét, amelyet tovább fokozott a zöld beruházások iránti növekvő kereslet, a folyamatos technológiai fejlődés által elérhető hatékonyabb eszközök és a zöld erőművek létesítésének költségcsökkentése (International Energy Agency, 2020).

Amint azt a *2. ábra* is mutatja, a megújuló energiaforrások által termelt villamosenergia 2011-ben az EU-27 bruttó villamosenergia-termeléséből mintegy 671 TWh-t tett ki, amely a teljes termelés 22,8%-át jelentette. A megújuló

energiaforrások 2022 végére közel kétszeresére nőttek (1 108 TWh), míg az arányuk 39,2%-ra emelkedett, figyelembe véve a biomassza megújulóknak tekinthető részét is a számításban. A vízenergia továbbra is jelentős mértékben hozzájárult a megújuló energiaforrásokhoz, az évtized során ingadozó, de viszonylag stabil tartományban mozgó részarányát főként a változó éghajlati viszonyok, különösen a csapadék- és hóolvadási tendenciák, valamint a szezonális ingadozások okozták. Ugyanakkor, jelen korszak meghatározó megújuló energiaforrásaivá a szél- és a napenergia váltak, e források szignifikáns növekedése (2011-ben rendre 5,6%, illetve 1,6%, ami 2022-re 14,9%-ra, illetve 7,4%-ra emelkedett) szintén kiemeli a gyors technológiai fejlődést és a költségcsökkentést ebben az ágazatban.

2. ábra: Megújuló energiákból származó bruttó villamosenergia-termelés (TWh) és energiaforrások szerinti megoszlása (%)



Forrás: Eurostat (é.n.-a; é.n.-b) adatbázisok alapján saját szerkesztés.

A közelmúltbeli geopolitikai feszültségek miatt, amelyek következtében a kőolaj- és földgázellátás elérhetőségével kapcsolatos aggályok erősen befolyásolták a villamosenergia-árat, a megújuló energiára való átállás is tovább gyorsult, mivel az EU igyekszik csökkenteni az importált fosszilis tüzelőanyagoktól való függőségét. Az energiabiztonság számos ország számára kiemelt prioritássá vált, ami az energiaforrások e szempontból történő újraértékeléséhez is vezetett (International Energy Agency, 2022).

3. A villamosenergia-piac működése

Maga a villamos energia egy speciális szekunder energiahordozónak minősül, melynek árát is különböző tényezők kombinációja határozza meg. Alapvetően az egyensúlyi árat a kereslet és kínálat egyensúlya alakítja, mint valamennyi árucikk esetében, azonban az elektromos energia olyan egyedi jellemzőkkel bír, amely miatt a villamosenergia-piac eltérő viselkedéssel rendelkezik más áru piacokhoz képest (Bahar–Sauvage, 2013; Creti, 2019; Zachmann et al., 2023).

Először is, sok áruval ellentétben a villamos energia önmagában nem tárolható semmilyen méretben. Az energia tárolható, de maga a villamos energia nem. Ugyanakkor az is igaz, hogy a termodinamika törvényének megfelelően a villamos energia tárolhatóvá válik miután átalakul más energiaformákká, például kémiai (akkumulátorok) vagy potenciális (szivattyús-tározós erőmű) energiává, de a jelenlegi technológia korlátai miatt nehéz nagy mennyiségű villamos energiát tárolni. Ezért a villamosenergia-kínálatnak mindig meg kell felelnie az éppen aktuális keresletnek, miközben mind a kereslet mennyisége, mind a kínálat forrása folyamatosan változik egy adott átlagos nap folyamán (Zachmann et al., 2023).

Ami a keresleti oldalt illeti, a villamosenergia-fogyasztás szintje szektoronként (lakossági, ipari, kereskedelmi vagy közlekedési szektor) eltérő. Általánosságban a keresletet az ipari tevékenységek, a technológiai fejlettség, az időjárási viszonyok, a mindennapi társadalmi és gazdasági tevékenységek, az otthoni szokások és a modern elektronikus eszközök használata befolyásolja. A fogyasztás nagysága gyorsan változik és szezonálisan ingadozik. Mindazonáltal, az elektromos energia mindennapi életünk mozgatórugója, így az ez iránti kereslet viszonylag rugalmatlan, amikor a villamos energia ára emelkedik, főleg a lakossági szektorban, ahol gyakran az árak szabályozottak. Továbbá, a fogyasztás kategorizálható az időszerű mennyiségi igény alapján alapterhelési (ami a 24 órán keresztül szükséges legkisebb mennyiségű villamos energiára utal), csúcsterhelési (amikor a magas kereslet jellemzően rövid időszakokra jelentkezik) és közepes terhelési tartományra. A terhelési görbék mind napközben, mind hónapról hónapra eltérnek az időjárás szezonális változása miatt (Bhattacharyya, 2011).

Mivel a villamosenergia-ellátásnak meg kell felelnie ezeknek a folyamatosan változó fogyasztási szinteknek, a szolgáltatók általában negyedórás időközönként mérnek, és az így becsült mennyiségekkel kalkulálnak a termelőktől való vásárlásuk során. Ez a folyamat elsősorban a nagykereskedelmi villamosenergia-piacon történik, ahol a villamos energiát nagy tételben vásárolják, illetve értékesítik, és magában foglalja a villamosenergia-kereskedelem minden formáját és résztvevőjét, tehát a villamosenergia-termelőket, a szolgáltatókat, a kiskereskedőket és a nagyfogyasztókat is (Hafner–Luciani, 2022). A nagykereskedelmi piacon a kereskedés különböző platformokon keresztül történhet, amelyek időbeli és termékbeli eltéréseket mutatnak (Bahar–Sauvage, 2013; Creti, 2019):

- a) Az azonnali piacokon a villamosenergia-kereskedelem közel azonnali szállítással történik. A résztvevők a másnapi piacokon keresztül egy nappal előre licitálhatnak a következő napi villamosenergia-szállításra. Ezzel szemben a napon belüli piac lehetővé teszi a szállítást a kereskedés napján.

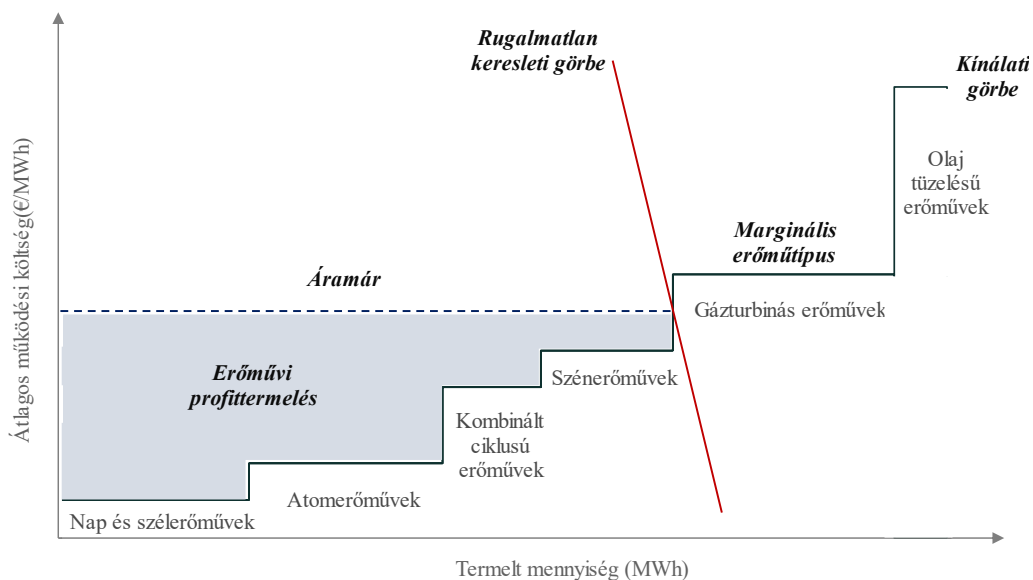
- b) A határidős piacokon a piaci szereplők szerződéseket kötnek arra vonatkozólag, hogy egy jövőbeli időpontban az adott napon megállapított áron vásárolnak vagy adnak el villamos energiát. Így a résztvevők a határidős piacokon fedezhetik a kockázataikat, melyeknek két fajtájuk van. A forward ügyletek a decentralizált piacokra vonatkoznak, ahol az egyedi határidős szerződésekkel közvetlenül két fél között kereskednek (tőzsdén kívüli kereskedelem), míg a futures olyan szabványosított határidős ügyletek, amelyekkel tőzsdén kereskednek.

A nagykereskedelmi villamosenergia-kereskedelem jelentős része energiátőzsdén keresztül történik (azonnali és határidős piacok), de a felek kétoldalú megállapodásokat is köthetnek, melyek köre az általános szállítási szerződésektől a tőzsdén kívüli szerződésekig terjednek. Utóbbiakhoz a tőzsdén kívüli, klíringházak nélküli megállapodások tartoznak, például villamos energia vásárlási megállapodások (power purchase agreement, PPA) és swap ügyletek, melyek általában határidős ügyletekre vonatkoznak (de rövid távú ügyletek a tőzsdén kívüli azonnali piacokon keresztül is lebonyolíthatók). Továbbá, a harmadik típusú villamosenergia-piaci forma, nevezetesen a kiegyenlítő piac a valós idejű piacot jelenti, ahol az átviteli rendszerüzemeltető (transmission system operator, TSO) valós időben kereskedik az energiával, hogy kiegyenlítse a hálózatot (Zachmann et al., 2023).

A villamos energia ára tehát a kereslet és kínálat egyensúlyának függvénye, amely azonban attól függ, hogy mennyi és milyen típusú erőmű termel olyan mennyiségű elektromos energiát, amely kielégíti a keresletet. Ezt a koncepciót határkötség-alapú árképzésnek nevezzük, mely szerint a mindenkori árat a kereslet maradéktalan kielégítéséhez szükséges utolsó egységnyi villamos energia határkötsége határozza meg. Ezt az egységet határegységnek nevezzük, azt az erőművet, amelyik pedig legutoljára került bekapcsolásra, tehát a határegységet szolgáltatja, marginális erőműtípusnak hívjuk (Bahar–Sauvage, 2013).

A határkötség nagysága a villamosenergia-termeléshez használt technológiától, a tüzelőanyagtól, valamint az aktuális kereslet szintjétől függően változhat. Az adott időszakra vonatkozó villamosenergia-kereslet előrejelzés után a termelők ajánlatot tesznek arra vonatkozóan, hogy mennyi villamos energiát tudnak szállítani és milyen áron, ami a határkötségüket jelenti. Ezután a piacműködtető a kereslethez igazítja a kínálatot, a legalacsonyabb ajánlatokkal kezdve, majd a kereslet növekedésével a nagyobb határkötséggel működő erőművekkel folytatva. Ez a rangsor a 3. ábra által illusztrált bekapcsolási sorrend (merit order) néven ismert. Végül a kereslet kielégítéséhez szükséges utolsó egység ára (a bekapcsolt erőmű egységnyi határkötsége) határozza meg a villamos energia elszámolóárát az adott időszakban az adott licit zóna (bidding zone) szerinti összes villamosenergia-ellátás számára (a villamosenergia-piacon a licit zónák olyan meghatározott földrajzi területek, amelyeken belül az árak egységesen kerül meghatározásra) (Bhattacharyya, 2011; Hafner–Luciani, 2022).

3. ábra: A merit order mechanizmusát szemléltető mintapélda



Forrás: Bahar–Sauvage (2013) alapján saját szerkesztés.

A 3. ábra alapján az is látszik, hogy amennyiben csökken a kereslet, úgy azt nagyobb valószínűséggel tudják kielégíteni a megújuló erőművek, tehát elméletileg csökkenni fog a villamos energia ára. Továbbá, a marginális erőműtípus előtt bekapcsolt erőművek egyetemlegesen szolgáltatnak elektromos energiát azért az árért, amelyben a marginális erőmű is részesül. Ennélfogva, ezen olcsóbban értékesítő erőművek profíthoz jutnak annak függvényében, hogy mekkora volt a saját operációs költségük.

Az erőművek határköltségei magukba foglalják az adott erőmű üzemeltetési és fenntartási költségét, de nem tartalmazzák a telepítési és a jövőbeli rekultivációs költségeket. Következésképpen, a megújuló energiaforrások közül a nap- és szélenergia áll az első helyen a rangsorban, mivel ezek nem igényelnek tüzelőanyagot, csak ütemezett karbantartást, ami viszonylag alacsony a fosszilis tüzelőanyaggal működő erőművekhez képest. A többi megújuló energiaforrással működő erőműnek is általánosságban alacsonyabbak a működési költségei, mint a nem megújuló forrásoknak, amely összességben versenyelőnyt biztosít a piacon a hagyományos erőművekkel szemben (Timmons et al., 2014). Ez pedig a fogyasztók szempontjából megfizethetőséget jelent, amely szintén az EU energiastratégiájának egyik pillére (gazdaságosság). Így a jelenlegi energiaátmenet nem csak az éghajlatváltozás elleni küzdelmet hivatott biztosítani, hanem a merit order mechanizmus révén támogatja az elektromos energia megfizethetőségét is mindamellet, hogy csökkentheti a külső energiainporttól való függőséget is (ha feltételezzük, hogy az időjárás-függő megújuló energiaforrások adott időben elérhetőek a kereslet fedezéséhez). Ez a három vetület pedig nem más, mint az

energiatrilemma, amely arra a kihívásra utal, hogy hogyan lehet egyensúlyt találni az energia megfizethetősége, biztonsága és fenntarthatósága között (Tol, 2023).

A merit order mechanizmusán keresztül jól látszik, hogy valamennyi primer és szekunder energiaforrás közvetlenül, de különböző nagyságban tud szerepet játszani a villamos energia árának alakulásában. Ugyanakkor megjegyezzük, hogy ugyan köszönhetően az EU piaci integrációs törekvéseinek, a historikus nagykereskedelmi villamos energiaárak magas fokú összekapcsoltságot mutatnak, de az egyes régiók között továbbra is vannak kisebb-nagyobb árkülönbségek olyan tényezők miatt, mint az átviteli korlátok, infrastrukturális fejlettségi szintek vagy az egyedi energiamixek és regionális geopolitikai események miatt (Creti, 2019; Deutsch et al., 2018). Tehát általánosságban az EU összekapcsolt energiapiacain az árak konvergálnak.

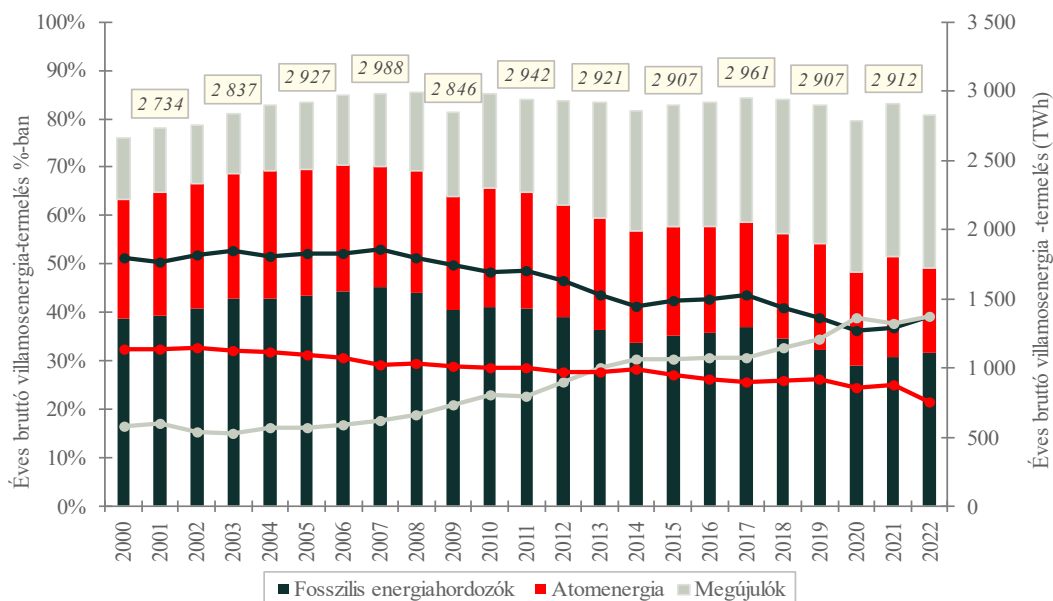
4. A nagykereskedelmi villamosenergia-árakat befolyásoló legfontosabb tényezők

A merit order mechanizmusának megértése alapján a következőkben részletesen bemutatásra kerülnek azon kulcstényezők elmúlt időszakbeli trendjei, melyek befolyásolják az egyensúlyi elektromos árak alakulását.

4.1. A megújuló energiaforrások jelentősége a villamosenergia-termelésben

A 3. ábra vizsgálatakor megállapíthattuk, hogy a megújuló energiaforrások növekedésének ceteris paribus az villamosenergia-árak csökkenését kellene eredményeznie, amely a magasabb költséggel működő erőművek piacról való kizárását eredményezi. A 4. ábra az EU éves bruttó villamosenergia-termelését mutatja az elmúlt 16 évben, mely alapján megállapítható, hogy az irány jó, még ha az éves növekedési ütem lassú is. A 2000-es évek elején egészen az évtized közepéig a megújulók aránya nagyjából 16% körül mozgott. A pénzügyi válságot követően, 2011-ben a megújulók által termelt elektromos energia mértéke elérte az 527 TWh értéket, amely a teljes 2 942 TWh össztermeléshez képest már 22,8%-os arányt jelentett. Mindeközben, a fosszilis tüzelőanyagok aránya ugyanezen időtávokban rendre ~51% és 48,6% volt, ami tehát 2011-ben még mindig több mint kétszerese a megújuló energiaforrások arányának. A megújulók 2012-ben majdnem elérték, 2013 óta pedig már többet is termeltek, mint az atomerőművek.

4. ábra: Éves bruttó villamosenergia-termelés (TWh) és megoszlása energiaforrásonként (%) az EU-27-ben



Forrás: Eurostat (é.n.-a; é.n.-b) adatbázisok alapján saját szerkesztés.

A következő fordulópontra egészen 2020-ig kellett várni, amikor is a megújulókból származó villamosenergia-termelés nagysága először volt magasabb (39,0%), mint a fosszilis tüzelőanyagoké (36,3%), mely külső tényezőknek is volt köszönhető. A COVID-19 pandémia és a gazdasági visszaesés okozta piaci helyzet abban az évben felgyorsította az energiaátmenet folyamatát. 2022-ben a fosszilis és a megújuló energiaforrások aránya közel azonos volt (~39,2%).

Ahogy korábban a 2. ábrán láthattuk, a szél- és naperőművek telepítése nőtt a legnagyobb mértékben az elmúlt két évtizedben. Ugyanakkor megjegyzendő, hogy az árapály- és hullámenergiában rejlő potenciál számos műszaki, gazdasági és földrajzi tényező miatt nagyrészt kihasználatlan maradt az EU-ban, míg a geotermikus energiát elsősorban a fűtésben hasznosítják jelenleg. A vízenergia jelentős megújuló energiaforrás, de bővítési lehetőségei korlátozottak, mivel az EU-ban a legtöbb optimális vízerőmű helyszín már használatban van. Ezen túlmenően, az ilyen erőművek telepítése gyakran környezetvédelmi és társadalmi aggályokat is felvet, miközben az éghajlatváltozás jelentősen befolyásolja a vízmennyiség rendelkezésre állását. Ezért összességében az EU vízerőmű-kapacitása viszonylag maximalizálódott (International Energy Agency, 2021). Végül a bioenergia – amely magában foglalja a biomasszát, a bioüzemanyagokat és a biogázt – ugyan az EU megújuló energia stratégiájának fontos részét képezi, de bővítését és fejlesztését egyensúlyba kell hozni a fenntarthatósági és társadalmi szempontokkal. A biomassza-termelésnek a földhasználatra, a biológiai sokszínűségre, az élelmezésbiztonságra és a szén-dioxid-kibocsátásra (CO₂) gyakorolt hatása körül

jelenleg is folynak társadalmi viták és szakpolitikai felülvizsgálatok annak biztosítása érdekében, hogy a bioenergia felhasználás káros környezeti hatások nélkül járuljon hozzá az EU fenntarthatósági céljainak eléréséhez (International Energy Agency, 2022).

Az EU tehát elsősorban a gazdaságilag legélelhetősebb, technológiailag legkiforrottabb és egyben a legtisztább lehetőségekre összpontosít, vagyis a szél- és a napenergiára. Azonban nem minden tiszta forrás egyben megújuló. Az atomenergia elfogadottsága az EU-ban tagállamonként jelentősen eltér. Egyes tagállamok, mint például Franciaország és Magyarország, nagymértékben támaszkodnak az atomenergiára a villamosenergia-termelésben, míg mások, mint Németország és Spanyolország, elkötelezték magukat az atomenergia fokozatos kivonása mellett (Timmons et al., 2014). Ennélfogva az atomenergia szerepe az EU energiaátalakításában és a környezetvédelmi célok elérésében vitatott. Az atomenergiát támogatók azzal érvelnek, hogy az atomenergia stabil, alacsony széndioxid-kibocsátású energiaforrás, amely nem járul hozzá az üvegházhatású gázok kibocsátásának növekedéséhez (ezért nevezzük tiszta, de nem megújuló energiaforrásnak). Mások az ellenérveiket a nukleáris hulladékokra, a potenciális katasztrófák beláthatatlan következményeire, valamint az új erőművek építésének magas költségeire alapozzák. Ezért az atomenergia részaránya 2000 és 2022 között közepes mértékben csökkent (32,3%-ról 21,5%-ra).

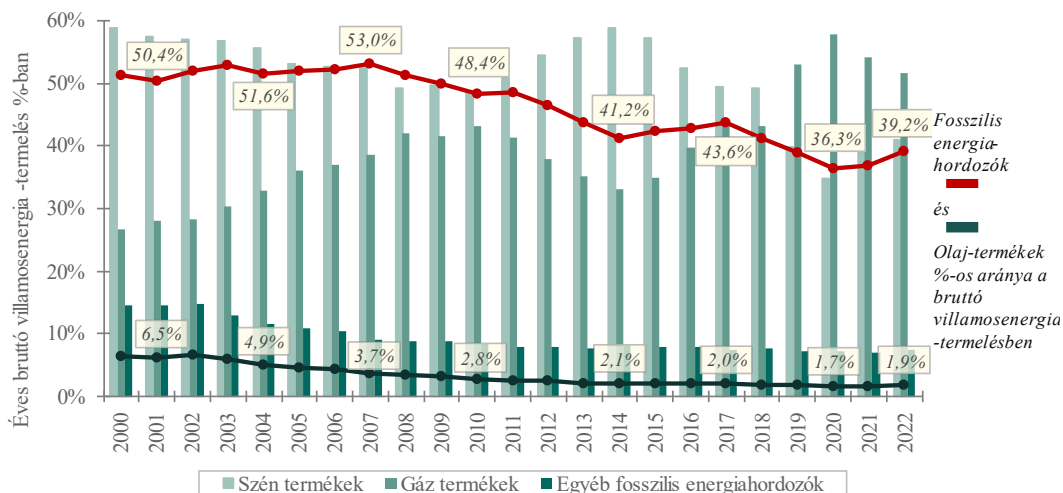
Ugyanakkor, az energiaátmenet egyik megoldatlan problémája az időjárás szenzitív megújuló energiaforrások változékonny termelési hatásfoka, amely a gazdaság és a társadalom óráról órára változó energiaszükséglete mellett szükségessé teszi rugalmas és szabályozható erőművek létét is, amelyeket gyorsan lehet a működésbe bekapcsolni. Ezért jelenleg továbbra is szükség van olyan nem megújuló energiaforrásokra, mint a földgáz, hogy a rugalmas gáztüzelésű erőműveket e célból lehessen hasznosítani (Bhattacharyya, 2011; Zakeri et al., 2023).

4.2. A fosszilis tüzelőanyagok szerepe a villamosenergia-termelésben

Az energiaátmeneti törekvések következtében a fosszilis tüzelőanyagok 2000 óta mintegy 12,0%-ot veszítettek a bruttó villamosenergia-termelésben betöltött arányukból. Az 5. ábra érdekes tendenciát mutat be a konvencionális energiaforrások alakulásában. Az ezredfordulókor az összes fosszilis tüzelőanyag több mint felét kitevte a bruttó villamosenergia-termelésnek (51,2%), amelyen belül a széntermékek domináltak (58,8%), melyeket a gáztermékek (26,6%) és az egyéb fosszilis tüzelőanyagok, mint például az olajtermékek, a nem megújuló biomassza és az egyéb tüzelőanyagok (14,5%) követték. Utóbbiak a 2010-es évek elejére az elektromos energiatermeléshez már csak mintegy 7-8%-ban járultak hozzá, mely arány jelenleg is változatlan (2022: 7,5%). Ezt elsősorban az olajtermékek felhasználásának csökkenése okozta (a 2000-es 12,7%-ról 2022-re 4,9%-ra csökkent az arány) a fosszilis tüzelőanyagok között. Közvetlenül a bruttó villamosenergia-termelést tekintve, a kőolaj és kőolajtermékek a vizsgált időszakban csak 1,6% és 6,6% között járultak hozzá a villamosenergia-termeléshez. Tehát az látszik, hogy az

olajtermékek nem szignifikánsan és csökkenő arányban kerültek hasznosításra villamosenergia-előállítás szempontból. Ugyanakkor, a szén- és gáztermékek jelentősen változó trendeket követtek az elmúlt két évtizedben, különböző gazdasági, geopolitikai és környezetvédelmi okok miatt.

5. ábra: A bruttó villamosenergia-termelésben résztvevő fosszilis tüzelőanyagok főbb típusok szerinti megoszlása (%)



Forrás: Eurostat (é.n.-a; é.n.-b) adatbázisok alapján saját szerkesztés.

A széntermékek a 2010-es évek végéig domináltak. Ennek oka, hogy a szén bőségesen rendelkezésre állt, illetve egyes EU tagállamok előnyben részesítették a szénfelhasználást a földgázzal szemben, csökkentve ezzel az importált földgáztól való függőségüket, mely javarészt Oroszországból származott (Leal-Arcas et al., 2016). Ráadásul a földgáz ára akkoriban magasabb volt, mint a szén ára, ami szintén hozzájárult ahhoz, hogy a széntermékek kiaknázását részesítették előnyben. Azonban a környezetvédelmi problémák és az ehhez kapcsolódó olyan nemzetközi megállapodások, mint a 2015-ben elfogadott Párizsi Megállapodás nyomást gyakoroltak az országokra, hogy csökkentsék a szénfelhasználást (International Energy Agency, 2020). A széntermékek az egyik leginkább szén-dioxid-intenzív energiahordozók, ezért számos ország törekszik a szénfelhasználás csökkentésére vagy fokozatos megszüntetésére a tisztább energiaforrások használatának érdekében. A szénnek a levegőminőségre és a közegészségügyre gyakorolt negatív hatása hozzájárult a széntüzelésű erőművek működésére vonatkozó szigorúbb szabályozáshoz. A nyomást tovább fokozta az EU ETS szén-dioxid-kvóta rendszerének bevezetése, mivel a szén a megtermelt energiaegységre vetítve a legtöbb CO₂-t bocsát ki (Hafner–Luciani, 2022).

A szén helyett a földgáz felhasználásának másik oka a felhasználás rugalmassága. A gáz elégetése egy sokkal rugalmasabb folyamat, mint a széné, ami elengedhetetlen a megújuló energiaforrások termelési volatilitásának kiegyensúlyozásához (International Energy Agency, 2023c). Az 5. ábrán

megfigyelhető, hogy a vizsgált időszak alatt a szén- és gáztermékek aránya az elektromos energiatermelésben résztvevő fosszilis tüzelőanyagokon belül ellentétes trendet követtek. A pénzügyi válság időszakáig a földgáz mennyisége jelentősen nőtt, míg a széntermékeké csökkent, amely javarészt a növekvő cseppfolyósított földgáz (liquefied natural gas, LNG) importnak és az energiaátmenetnek volt köszönhető. Ugyanakkor, a válságot követő recesszió és kilábalás időszaka alatt megint a felhasznált széntermékek aránya volt felfutóban a gáztermékekkel szemben. A European Commission (2014) alapján 2011 és 2014 között ez főleg a csökkenő LNG importnak tudható be, mivel az LNG Ázsiában és Latin-Amerikában ekkortájt volt felfutóban, amely magasabb gázárakhoz vezetett, így a széntüzelésű erőművek működtetése még mindig jobban megérte gazdaságilag. Az újabb fordulóponthoz a 2014-es év jelentette, melytől kezdve egészen a COVID-19-es pandémiáig folyamatosan nőtt a gáztermékek aránya a fosszilis tüzelőanyagokon belül, mígnem 2019-en már meg is előzte a széntermékek pozícióját. A gáztermékek jelentősen versenyképesebbé váltak a széntermékekkel szemben, főleg miután az EU ETS rendszer új fázisba lépett (Zakeri et al., 2023).

A pandémia, illetve az azt követő energiaválság azonban megint újraírta a trendeket. 2020-ban 36,3%-ot képviseltek összesen a fosszilis tüzelőanyagok a bruttó villamosenergia-termelésben, amelynek nagy részét, mintegy 57,9%-ot a gáztermékek tették ki, míg a széntermékek 34,8%-ot és az egyéb fosszilis energiahordozók 7,3%-ot képviseltek. Az utolsó két vizsgált évben nem csak a bruttó villamosenergia-termelésben felhasznált fosszilis tüzelőanyagok általános szintje nőtt meg 39,2%-ra, hanem a széntermékek is reneszánsz korszakukat élték a földgázzal szemben. Ezt a trendet elsősorban geopolitikai tényezők befolyásolták.

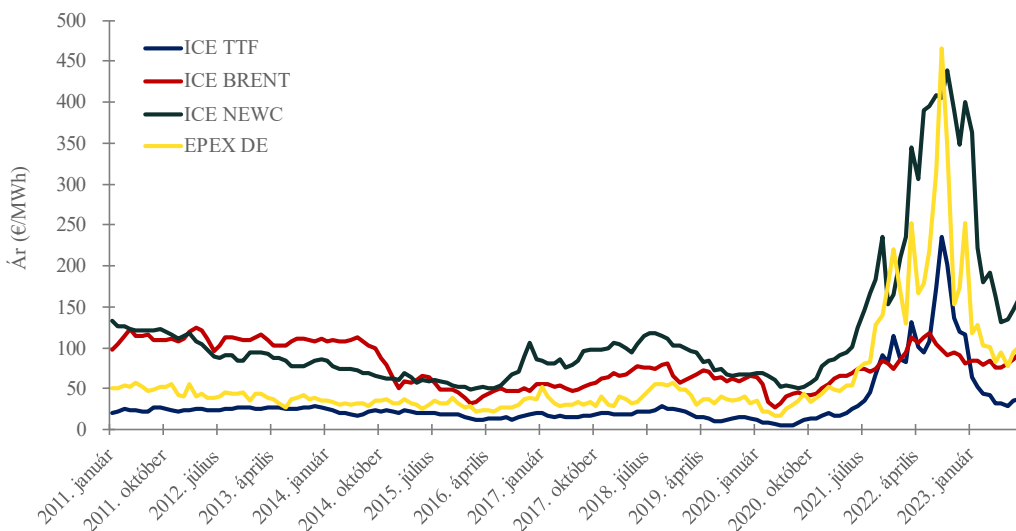
Ami a földgáz-tendenciákat illeti, a földgáz árának erőteljes emelkedését a COVID-19 világválságból való vártnál gyorsabb gazdasági fellendülés okozott, mivel a kínálat nem tudott lépést tartani a hirtelen megugró kereslettel. Ezt nagyban fokozták a növekvő geopolitikai feszültségek, mivel a kitört orosz-ukrán háború és az EU szankciós politikája kétségbe vonta a jövőbeli földgázszállítások megbízhatóságát, mivel az EU fő gázbeszállítója az orosz gazdaság volt. Emellett számos uniós tagállam is úgy döntött, hogy a potenciális hideg téli hónapok esetleges földgázellátási problémákra számítva megőrzi földgázkészleteit. Mindezek arra késztették az uniós országokat, hogy az ellátás biztonsága érdekében alternatív energiaforrásokat keressenek, és ilyen körülmények között átmenetileg a széntermékek gazdaságilag életképesebbé váltak. A bizonytalanság miatt a szén – amely gyakran több forrásból nagy mennyiségben is beszerezhető – egyes országok számára rövid távon biztonságosabb opcióvá vált. A megugró kereslet hatására a felhasznált mennyiség mellett a szén ára is emelkedett (International Energy Agency, 2023c; Tol, 2023; Zachmann et al., 2023).

Fontos megjegyezni, hogy ez a 2021-2022-es trend egy extrém piaci és geopolitikai körülményekre adott átmeneti válasz következménye csak. Az EU hosszú távú elkötelezettsége az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése és a megújuló energiaforrásokra való áttérés iránt továbbra is kulcsfontosságú, a

földgáz szerepét pedig gyakran tekintik áthidaló megoldásnak ebben az átmenetben (Zakeri et al., 2023).

Mindezen villamos energia, földgáz (TTF), olaj (BRENT) és szén (NEWC) tőzsdei (European Power Exchange, EPEX vagy Intercontinental Exchange, ICE energiátőzsdéken kereskedett referencia termékek) árainak alakulását a 6. ábra szemlélteti. Az ábra alapján jól látható tehát, hogy az energiaválság következtében az energiapiacokon mekkora rendkívüli áremelkedés és volatilitás - az összehasonlítás kedvéért, a HUPX spot árai 2021. június 1. és 2023. szeptember 30. között mintegy 115,91 EUR/MWh szórással bírtak a korábbi évtized 22,45 EUR/MWh szórásával szemben - mutatkozott meg, egyes esetekben pedig minden idők legmagasabb egységárai voltak megfigyelhetőek.

6. ábra: Havi átlagos tőzsdei villamos energia, kőolaj, földgáz és kőszén árak (2011. január – 2023. szeptember)



Forrás: Energy-Charts (é.n.), Investing.com (é.n.), Refinitiv Eikon (é.n.) adatbázisok alapján saját szerkesztés.

4.3. A megújuló erőforrások terjedését elősegítő egyik ösztönző eszköze

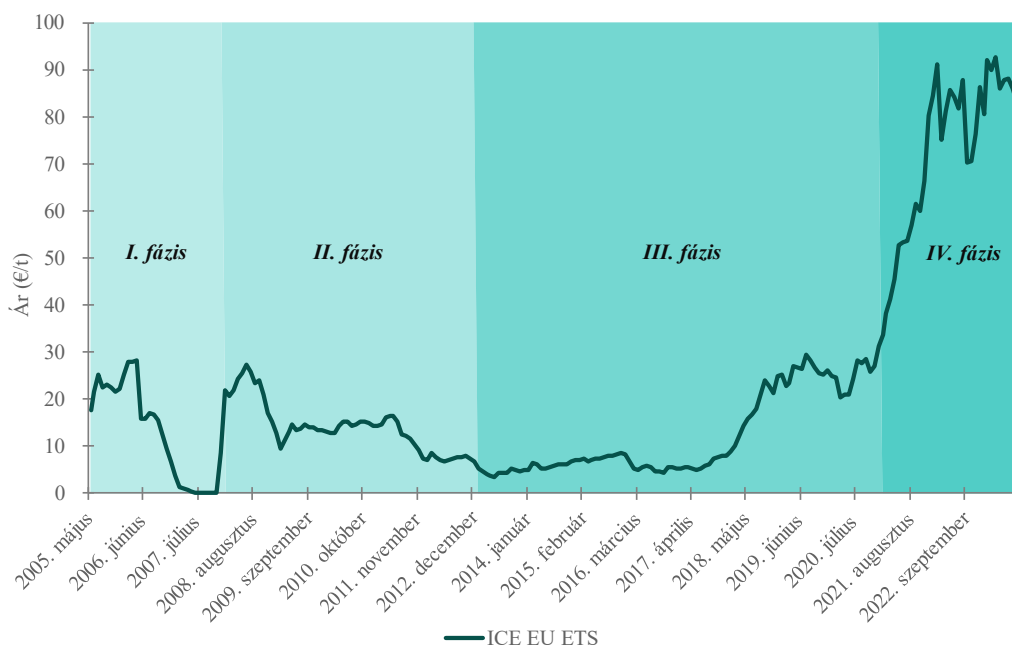
Az EU 2005-ben vezette be a kibocsátáskereskedelmi rendszert, amely kezdetben kísérleti jelleggel működött, majd 2008-ban vált teljesen működőképessé. Az összes EU tagországon kívül Izland, Liechtenstein és Norvégia is a szabályozói rendszer hatálya alá tartozik, a közös cél pedig az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése a Kiotói Jegyzőkönyvben és a Párizsi Megállapodásban meghatározott ütemtervnek megfelelően (International Energy Agency, 2020).

Az EU ETS alapvetően úgy működik, hogy meghatároz egy felső határt azon európai uniós kibocsátási egység mennyiségre (EU Allowances, EUA), amit a résztvevő vállalatok, gyárak és erőművek összességében kibocsáthatnak. Ez a felső határ évről évre csökken, így ösztönzi a kibocsátások csökkentését. Minden egyes kvóta egy tonnának megfelelő mennyiségű CO₂ vagy más üvegházhatású gázok

egyenértékű mennyiségének kibocsátását engedélyezi a birtokosnak (European Commission, 2016; Hafner–Luciani, 2022).

A szükséges kvóták egy részét ingyenesen allokálják a rendszerben résztvevőknek különféle ágazati átlagok és az adott létesítmények teljesítménye alapján. Az ingyenes allokáció mértéke azonban fokozatosan csökken, így a rendszer arra ösztönzi a vállalatokat, hogy befektessenek a kibocsátás csökkentésére irányuló technológiákba, vagy hatékonyabban működjenek. Az ingyenes allokáción túl a kvóták egy jelentős részét a tagállamok által megszervezett aukciókon értékesítik. Ha pedig egy vállalatnak több kvótája lett, mint amennyi a tényleges kibocsátásához szükséges, eladhatja a felesleges kvótáit más vállalatoknak az ún. másodlagos piacon (European Commission, 2021; Rathmann, 2007). Az ICE-n kereskedhető EUA árak a másodlagos piacot tükrözik (7. ábra). Ezek a mechanizmusok együtt biztosítják, hogy a kibocsátási kvóták a legtöbb gazdasági szereplő számára elérhetőek legyenek.

7. ábra: A szén-dioxid kvóta árának alakulása az egyes fázisok függvényében



Forrás: Investing.com (é.n.) alapján saját szerkesztés.

Az EU ETS nem minden ágazatot érint egyformán, de valamennyi energiaigényes iparág (pl. vas-, acél-, üveggyártás, cement- és vegyipar-gyártás stb.), a kereskedelmi légi szállítványozás és az energiaszektor a hatálya alá tartozik (Hafner–Luciani, 2022). Továbbá, a rendszer fázisokra oszlik, amelyek alatt a kibocsátási kvóták allokációjának és a rendszer aktuális szabályainak megállapítása történik, építkezve az előző időszak tapasztalataira. Az első fázisban a kvóták nagy részét ingyen osztották ki, míg a 2008-2012 közötti időszakban már szigorodtak a kibocsátási határok, és elkezdődtek az aukciók is. Ebben és a második fázisban az

volt megfigyelhető a piacon, hogy a szén-dioxid-kibocsátás folyamatos csökkenése miatt az EUA árai is csökkentek, mivel a piacon egyre több kvóta állt rendelkezésre. Ezért 2018-ban tovább szigorították a rendszert, csökkentették a felső határokat, megváltoztatták a szabad kiosztás módszereit, és fokozatosan, évente növekvő mértékben csökkentették a piacon hozzáférhető kereskedhető kibocsátási egységek számát. Erre a piac már megfelelően reagált, és az EUA ára emelkedésnek indult (Hafner–Luciani, 2022). A világvárvány hatása átmenetileg mérsékelte ezt a tendenciát, de mivel a gazdasági tevékenység a világvárvány lecsengésével gyorsan újraindult, ezzel egyidejűleg a kibocsátások növekedése is bekövetkezett, ami magasabb másodlagos piaci árakat eredményezett. Ezt a tendenciát tovább erősítette az energiaválság és az orosz-ukrán háború, mivel a korábban részletezett széntüzelésű erőművek iránti átmeneti preferencia növekedés fokozta az EUA-k iránti keresletet, hiszen ez a fajta termelés a legszén-dioxid-intenzívebb mind közül.

Tehát az EUA-k költségei növelik a fosszilis tüzelőanyag-alapú erőművek működési költségeit. Minél magasabb az EUA ára, annál költségesebb a CO₂-kibocsátás. Ezért a villamosenergia-ár jellemzően tükrözi ezeket a többletköltségeket. Az EUA-k árai a historikus tapasztalatok alapján ingadozhatnak, amely szintén növeli a villamos energia árának volatilitását.

Megjegyezzük, hogy a szén-dioxid-kibocsátási engedélyek bevezetése egy közvetett támogatási mechanizmust jelentett a megújuló energiaforrások számára, hiszen a rendszer közvetve támogatja a megújuló energiák terjedését azáltal, hogy beárazza a szén-dioxid-kibocsátást, és megdrágítja a fosszilis tüzelőanyag-alapú entitások működését. Ugyanakkor, más támogatási formák is léteznek, a gyakorlatban a tagállamok különböző szakpolitikai eszközöket alkalmaznak, például kötelező átvételi tarifákat, piaci áron felüli prémiumokat, beruházási támogatásokat vagy adókedvezményeket (Bhattacharyya, 2011). Ezek az eszközök hatékonyan támogatják a 2., 4. és 5. ábrán látható egyértelmű tendenciát, az energiaátmenetet, mely kihívást jelent a hagyományos erőművek számára. Ezzel szemben, a rendszernek egyre nagyobb mennyiségű és rugalmasan elérhető kapacitásra is szüksége van a mindenkori villamosenergia-igény kielégítése érdekében a megújuló erőművek időjárásfüggő természetéből fakadóan. Jelenleg a megújuló erőművek nem tudnak kellő rugalmassággal reagálni a változékony fogyasztói igényekre sem (pl. csúcsterhelésekre), habár az akkumulátor-technológia fejlődése, az intelligens hálózatrányítási rendszerek terén elért innovációk, avagy ahogy Vadászi–Tomkóné Nyiri (2023) is rámutatott, a hidrogéntárolásban rejlő lehetőségek kiaknázása mind javíthatnak ezen a helyzeten.

5. Összefoglalás

Az EU elkötelezettsége az energiaátmenet mellett megkérdőjelezhetetlen. Ez az átmenet döntő fontosságú az éghajlatváltozási kihívások kezelése, valamint a fenntarthatóbb és környezetbarátabb energiatermelési modellek felé való elmozdulás szempontjából. A megújuló energiaforrások – például a nap- és szénenergia – energiamixbe való integrálása azonban megváltoztatja az energiapiacok dinamikáját.

Az alacsony határköltséggel működő megújuló energiaforrások növekvő aránya jelentősen befolyásolja a villamosenergia-piacok működését a merit order mechanizmusán keresztül, ahol a kínálati források elosztása a határköltségek növekvő sorrendje alapján történik. Ez a folyamat alapvetően az elektromos energia árának csökkenéséhez vezethetne, mivel a megújuló energiaforrások által termelt elektromos energia átvétele elsőbbséget élvez a magasabb működési költséggel bíró konvencionális erőművek által termelt energiával szemben. Ezt az előnyt azonban ellensúlyozhatja a megújuló energiaforrások időszakos termelési jellegéből adódó volatilitás. A megújuló energiaforrások által előrejelzett termelési volumenek külső tényezőktől függő becslésen alapulnak, amely miatt szükség van robusztus tartalékmegoldásokra és kiegyenlítő mechanizmusokra, amelyeket gyakran földgáz-erőművek biztosítanak. Másik aspektusból nézve, az EU a karbonsemlegességi törekvései miatt eltávolodik a szénhasználatától, és egyre inkább a földgázra, mint áthidaló fosszilis tüzelőanyagra támaszkodik. Ezek együttesen hatással vannak a földgáz iránti keresletre és a gázárakra is.

A gyakorlatban sokszor a gáz az az energiaforrás, amely meghatározza a villamosenergia-ár határköltségét (tehát a gáz alapú generátorok a legdrágábbak a szükségesek közül), tehát az elektromos energia piaci ára nagyban függ a gáz áráról. Ha a gáz ára emelkedik, a gáz alapú generátorok határköltsége is növekszik, ami magasabb villamosenergia-árakhoz vezet a piaci alapú rendszerekben. Következésképpen, jelenleg a gázárak mozgás szignifikáns hatással bír a villamosenergia-árak alakulására.

A 21. század második évtizede világvárossal és geopolitikai konfliktusokkal, azaz vészterhes keretek között kezdődött. Egy ilyen időszaknak az energiapiacokra gyakorolt hatása is jelentős. A közelmúltbeli multiválság rávilágított a globális energiarendszerek törékenységre és összekapcsoltságára, valamint az EU energiarendszerének sebezhetőségére, különösen a földgázimporttól való függőség tekintetében. Az energia árak ilyen jelentős ingadozása aggodalomra adott okot, amely nemcsak a piaci stabilitást, hanem a fogyasztók számára a megfizethetőséget is befolyásolta. Az energiatrilemma kérdésköre különösen hangsúlyossá válik ilyen helyzetekben, amikor a fenntarthatóság, a megfizethetőség és a biztonság közötti egyensúly fenntartása egyre nagyobb kihívást jelent.

Összefoglalva, az energiaátmenet, mely a fenntarthatóság szempontjából alapvető fontosságú, bonyolult piaci dinamikát eredményez, különösen a villamosenergia-piac általános stabilitása tekintetében. Az energiatrilemma által támasztott kihívások, különösen a válságok idején, megfontolt és körültekintő navigációt igényelnek az energiapolitikában. A politikai döntéshozóknak arra kell törekedniük, hogy olyan rugalmas energiarendszert hozzanak létre, amely stabil, válságálló-képessége magas, és biztosítani tudja a hozzáálló keretet a megújuló energiára való töretlen átállásra. Az energiatrilemma egyensúlyának megteremtése tehát megfelelő politikát, folyamatos technológiai fejlesztéseket és minden érdekelt fél közötti együttműködésen alapuló megközelítést igényel. Bár a fenntartható jövő felé vezető út összetett és kihívásokkal teli, földünk és a jövő nemzedékeinek jóléte szempontjából ez az irány létfontosságú.

Köszönetnyilvánítás

Ezt a munkát a Pécsi Tudományegyetem, Földtudományok Doktori Iskola támogatta.

Irodalomjegyzék

- Bahar, H., Sauvage, J. (2013): Cross-Border Trade in Electricity and the Development of Renewables-Based Electric Power. *OECD Trade and Environment Working Papers*, 2013/02: 1–76. <https://doi.org/10.1787/5k4869cdwnzr-en>
- Bhattacharyya, S. C. (2011): *Energy Economics. Concepts, Issues, Markets and Governance*. Springer: London, United Kingdom. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-268-1>
- Bompard, E., Mosca, C., Colella, P., Antonopoulos, G., Fulli, G., Maserà, M., Poncela-Blanco, M., Vitiello, S. (2020): The Immediate Impacts of COVID-19 on European Electricity Systems: A First Assessment and Lessons Learned. *Energies*, 14 (1): 96, 1–22. <https://doi.org/10.3390/en14010096>
- Buchan, D., Keay, M. (2016): *Europe's Long Energy Journey: Towards an Energy Union?* Oxford University Press: Oxford, United Kingdom.
- Creti, A. (2019): *Economics of Electricity: Markets, Competition and Rules*. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom.
- Deutsch N., Fiáth A., Virág M., Berényi L. (2018): Nuclear power - additions to wholesale electricity prices and margin of safety. *WSEAS Transactions on Business and Economics*, 15: 197–212.
- Energy-Charts (é.n.): Average spot market prices. <https://energy-charts.info/charts/price_average/chart.html?l=en&c=DE> (2023.12.17.)
- European Commission (2010): Energy 2020 A strategy for competitive, sustainable and secure energy. COM (2010) 639: 1–21. European Commission: Brussels, Belgium.
- European Commission (2014): Quarterly Report Energy on European Gas Markets. *Market Observatory for Energy*, 7 (4): 1–33. European Commission: Brussels, Belgium.
- European Commission (2016): The EU Emissions Trading System (EU ETS). European Commission: Brussels, Belgium. <https://doi.org/10.2834/6083>
- European Commission (2021): Quarterly Report on European Electricity Markets with focus on the impact of high carbon prices in the electricity sector. *Market Observatory for Energy*, 14 (1): 1–49. European Commission: Brussels, Belgium.
- Eurostat (é.n.-a): Gross production of electricity and derived heat from combustible fuels by type of plant and operator. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_pehcf/default/table> (2024.01.11.)
- Eurostat (é.n.-b): Gross production of electricity and derived heat from non-combustible fuels by type of plant and operator. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_pehmf/default/table> (2024.01.11.)
- Hafner, M., Luciani, G. (2022): *The Palgrave Handbook of International Energy Economics*. Palgrave Macmillan: Cham, Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-86884-0>
- Houtman, A., Reins, L. (2022): Energy Transition in the EU: Targets, Market Regulation and Law. In: Wood, G., Onyango, V., Yenneti, K., Liakopoulou, M. A. (szerk.): *The Palgrave Handbook of Zero Carbon Energy Systems and Energy Transitions*. Palgrave Studies in Energy Transitions, 1–26. Palgrave Macmillan: Cham, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74380-2_2-2
- HUPX (é.n.): Historikus adatok. <<https://hupx.hu/hu/piaci-adatok/dam/historikus-adatok>> (2023.12.17.)
- International Energy Agency (2020): European Union 2020 Energy Policy Review. International Energy Agency: Paris, France.
- International Energy Agency (2021): Hydropower Special Market Report. International Energy Agency: Paris, France.
- International Energy Agency (2022): Renewables 2022. International Energy Agency: Paris, France.

- International Energy Agency (2023a): Europe's energy crisis: Understanding the drivers of the fall in electricity demand. International Energy Agency: Paris, France.
- International Energy Agency (2023b): Global Gas Security Review 2023. International Energy Agency: Paris, France.
- International Energy Agency (2023c): Electricity Market Report 2023. International Energy Agency: Paris, France.
- Investing.com. (é.n.): Energy futures prices. <<https://www.investing.com/>> (2023.12.17.)
- Leal-Arcas, R., Grasso, C., Alemany Ríos, J. (2016): *Energy Security, Trade and the EU*. Edward Elgar Publishing: Cheltenham, United Kingdom.
- Rathmann, M. (2007): Do support systems for RES-E reduce EU-ETS-driven electricity prices? *Energy Policy*, 35 (1): 342–349. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.11.029>
- Refinitiv Eikon. (é.n.): Eikon Energy Commodities. <<https://www.lseg.com/en/data-analytics>> (2023.12.17)
- Szczepanski, M. (2019): A decade on from the crisis. Main responses and remaining challenges. Briefing. European Parliamentary Research Service: Brussels, Belgium.
- Szénási E. (2021): *Globális energiaválság: európai sajátosságok és következmények*. Academia.edu Publishing: San Francisco, CA.
- Tertre, M. G., Rivas, M., Saveyn, B., Mettenheim, M. von, Serre, C., Martínez, I., Auger, T., Babić, A., Tognoni, M., Zucker, A. (2023): *Structural changes in energy markets and price implications: effects of the recent energy crisis and perspectives of the green transition*. European Central Bank: Frankfurt, Germany.
- Timmons, D., Harris, J. M., Roach, B. (2014): *The Economics of Renewable Energy*. Global Development And Environment Institute, Tufts University: Medford, MA, United States.
- Tol, R. (2023): Navigating the Energy Trilemma during Geopolitical and Environmental Crises. *ADB Working Paper*, 1372: 1–26. <https://doi.org/10.56506/EBHD4081>
- Tóth A., Bencs P. (2023): Megújuló energia átalakulását szabályozó rendelkezések. *Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok*, 18 (különszám): 503–513. <https://doi.org/10.14232/jtgf.2023.kulonszam.503-513>
- Vadászi M., Tomkóné Nyiri K. (2023): A felszín alatti hidrogéntárolás kihívásai az időszakos megújuló villamosenergia termelés egyensúlyozásában. *Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok*, 18 (különszám): 537–547. <https://doi.org/10.14232/jtgf.2023.kulonszam.537-547>
- Varro, L., Beyer, S., Journeay-Kaler, P., Gaffney, K. (2020): Green stimulus after the 2008 crisis. International Energy Agency: Paris, France.
- Zachmann, G., Hirth, L., Heussaff, C., Schlecht, I., Mühlenpfordt, J., Eicke, A. (2023): The design of the European electricity market. Current proposals and ways ahead. Study. European Parliament: Luxembourg City, Luxembourg.
- Zakeri, B., Staffell, I., Dodds, P., Grubb, M., Ekins, P., Jääskeläinen, J., Cross, S., Helin, K., Gisse, G. C. (2023): Role of Natural Gas in Electricity Prices. *Energy Reports*, 10: 2778–2792. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2023.09.069>
- Zhong, H., Tan, Z., He, Y., Xie, L., Kang, C. (2020): Implications of COVID-19 for the electricity industry: A comprehensive review. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 6 (3): 489–495. <https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2020.02500>