

ENERGY OF OUR FUTURE | JÖVŐNK ENERGIÁJA

MOLNÁR Ferenc¹**Abstract**

The history of humanity is accompanied by the presence of energy, its ever-expanding uses and forms, and the ever-increasing demand for energy. For the human of today, energy is present in so many forms of appearance and use that it could be listed only without the need for completeness. The use of energy is decisive in all segments of modern human life. It is no exaggeration to say that the living conditions of the urbanized people living today would disappear in the absence of energy. Without electricity, nothing would work, such as control systems implemented with computer equipments, nor the main and auxiliary equipments of primary supply systems. It is easy to see that in the absence of electricity, the water and gas supply would be cut off. Ventilation systems would not work. Traffic would stop and everything would turn dark at night. There would be no heating and cooling feasibility for the apartments. Industrial and agricultural production would cease. There would be no drinking water or food. Communication and security systems would not work. National and law enforcement would not be able to do its job either. Lack of energy would lead to economic and social catastrophe..

Keywords

energy, renewable sources, greenhouse effect, electrification

Absztrakt

Az emberiség történelmét végig kíséri az energia jelenléte, folyamatosan bővülő felhasználási területei és formái, valamint az egyre növekvő energiaigény. A jelenkor embere számára az energia olyan számos megjelenési és felhasználási formában van jelen, hogy felsorolni is csak a teljesség igénye nélkül lehetne. A modern ember életének minden szegmensében meghatározó az energia használata. Túlzás nélkül ki lehet jelenteni, hogy a ma élő urbanizált ember életfeltételei szűnnének meg az energia hiányában. Villamos energia nélkül nem működne semmi, így a számítástechnikai eszközökkel megvalósított irányító rendszerek, sem az alapellátó rendszerek fő és segédberendezései. Könnyű belátni, hogy villamos energia hiányában leállna a víz-, gázellátás. Nem működnének a szellőző rendszerek. Leállna a közlekedés és éjszaka minden sötétbe borulna. Nem lenne fűtési és hűtési lehetősége a lakásoknak. Leállna az ipari és mezőgazdasági termelés. Sem ivóvíz, sem élelem nem lenne. Nem működnének a kommunikációs és biztonsági rendszerek. Az ország-, és rendvédelem sem tudná ellátni a feladatát. Az energia hiánya gazdasági és társadalmi katasztrófához vezetne.

Kulcsszavak

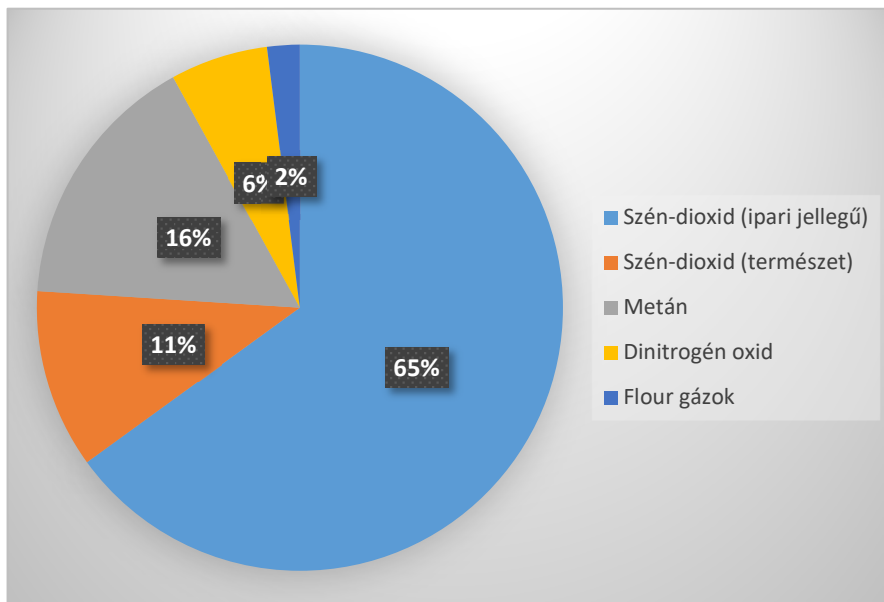
energia, megújuló források, üvegházhatás, elektrifikáció

¹ molnar.ferenc@phd.uni-obuda.hu | ORCID azonosító: 0000-0002-0008-0544 | head of sustainable energy generation team/fenntartható termelési csoportvezető | MVM Hungarian Electricity Ltd./MVM Magyar Villamos Művek Zrt.

BEVEZETÉS

Az üvegházhatású gázkibocsátás vizsgálata

Az emberiség folyamatosan növekvő létszáma, valamint a megállíthatatlan gazdasági és társadalmi fejlődés egyben az energiaszükséglet növekedését is magával vonzza. Az energia különböző felhasználási formáinak gyarapodása is a primerenergia hordozók egyre nagyobb mértékű felhasználásával jár együtt. A szakpolitika előrejelzése szerint az előttünk álló 20 év végére a gazdasági fejlődés velejáró következményeként a városok lakossága globális szinten 1,7 milliárddal fog bővülni [1]. Ennek természetes hozadéka, hogy az emberiség környezetre gyakorolt hatása is nagymértékben megváltozik. Ilyen hatások közül a legfontosabbak a Föld készleteinek gyorsuló ütemű felemésztése, a növekvő hulladékmenyiség okozta szennyeződés, a levegőszennyezés és az üvegházhatású gázok kibocsátásának drasztikus emelkedése. Az üvegházhatású gázok fokozott mennyiségű és ütemű légtérbe juttatásának következménye az üvegház hatás felerősödése, amely a Föld légkörének átlaghőmérséklet emelkedését jelenti. Az elmúlt évek 2,5 C fok átlagos hőmérséklet emelkedést produkáltak. A további ugyanilyen mértékű átlaghőmérséklet emelkedés hatására 80 millióval növekedhet az éhező emberek száma a 2016. évi adatokhoz képest a 21. században. Az emlősök 25%-át és a madarak 12%-át fenyegeti a kihalás veszélye. A 21. század egyik legnagyobb kihívása a klímaváltozás elleni küzdelem [2].

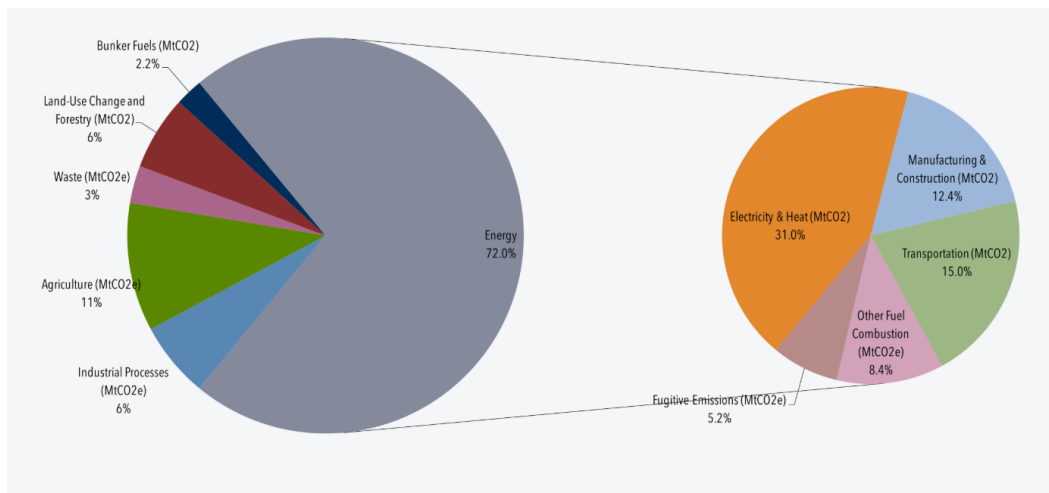


1. Ábra: A globális üvegház hatású gázkibocsátás összetétele 2014-ben. (saját szerkesztés EPA, 2020 alapján) [3].

Az üvegházhatású gázok legnagyobb volumenű összetevője a szén-dioxid kibocsátás. A CO₂ gázok 76%-os részesedéséből 11%-pont az erdőgazdálkodás és a mezőgazdaság számlájára írható. A meghatározó 65%-os terjedelemben az ipari jellegű tevékenységek következményeként jut a légtérbe [3]. A CO₂ keletkezése az égési folyamatok során

történik. A légkörbe kibocsátott CO₂ döntő hányada a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származik. A fosszilis tüzelőanyagok elégetése a felelős a metán és a dinitrigén oxid keletkezésének egy részéért is. A fluor tartalmú gázokat részben az a kénhexafluorid SF₆ gáz alkotja, amelyet például az erősáramú villamos berendezésekben villamos szigetelésre és ívoltásra használnak.

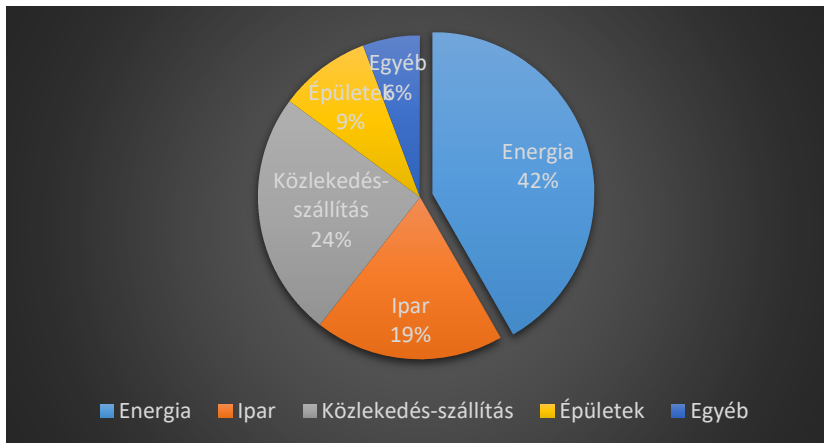
Egy másik csoportosítási szempont szerint is érdemes megvizsgálni az üvegházhatású gázok összetételét. A kibocsátó ágazatok szerinti bontást a World Resources Institute, 2017-ben közzétett, 2013. évi feldolgozott adatai alapján a Center For Climate And Energy Solutions jelenítette meg.



2. Ábra: A globális üvegházhatású gázkibocsátás primer források szerinti összetétele 2013-ban. (c2es.org, 2020) [4].

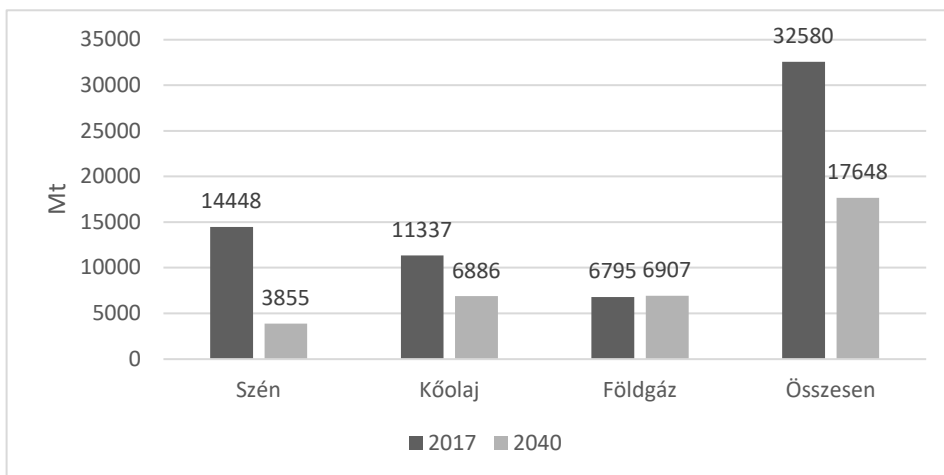
A primer források szerinti csoportosítás alapján megállapítható, hogy az üvegházhatást okozó gázok 72%-ának kibocsátásáért a 2013-as évben, a különböző gazdasági szektorok energiafelhasználása tehető felelőssé. Ezek közül a legnagyobb a villamos és hőenergia előállító iparág 31%-os részesedéssel, amelyet a közlekedés-szállítás követ 15%-kal és jelentősnek mondható még a gyártás-szerelés ágazat több mint 12%-kal [4]. Az emisszió primer forrásainak vizsgálata azt az eredményt hozta, hogy az energiafelhasználás jelentős átalakítása elkerülhetetlen a bolygónk megóvása érdekében.

Az 1. ábra tanulsága szerint a kibocsátott szén-dioxid mennyisége befolyásolja a legnagyobb mértékben a Föld éghajlatát a légkörben csapdába zárt hőmennyiség okán. Ebből következően a klímaváltozás elleni intézkedések leghatékonyabb eszköze lehet a szén-dioxid kibocsátás erőteljes csökkentése. A beavatkozási lehetőségek feltérképezéséhez érdemes megvizsgálunk a legnagyobb hányadot képviselő szén-dioxid kibocsátás összetételét.



3. Ábra: A globális szén-dioxid-kibocsátás összetétele 2017-ben (saját szerkesztés WEO 2018 alapján) [1].

A szén-dioxid-kibocsátás összetételének szemügyre vétele során megállapítható, hogy a legnagyobb részesedést az energiaelőállítási iparág tudhatja magáénak, de a közlekedés-szállítás és az ipar emissziója is jelentős. Az emisszió csökkentésének lehetőségeit még pontosabban tudjuk behatárolni, ha megvizsgáljuk a teljes szén-dioxid-emisszió primer tüzelőanyag szerinti megoszlását.

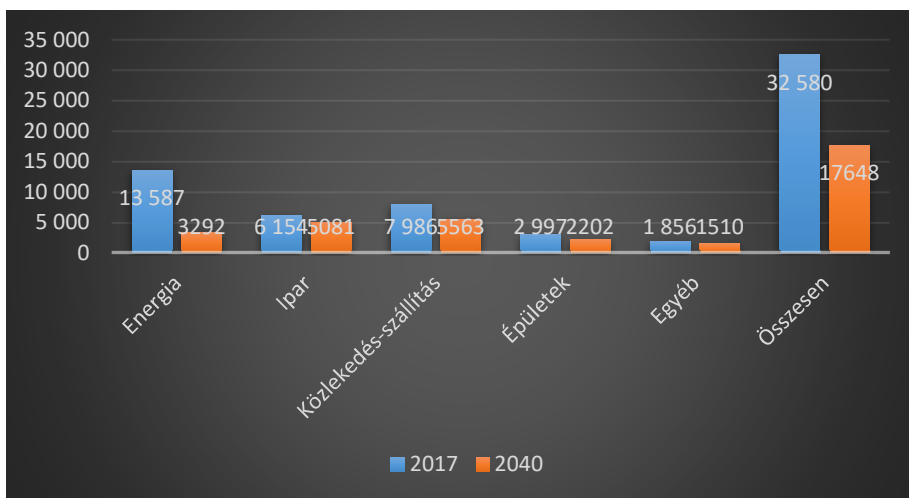


4. Ábra: A globális szén-dioxid kibocsátás megoszlása és mértéke tüzelőanyagokénti bontásban, 2017-ben és 2040-ben Mtonnában megjelenítve (saját szerkesztés WEO 2018 alapján) [1].

Az ábra jól szemlélteti, hogy a szén-dioxid-kibocsátás teljes mennyisége a három fő fosszilis tüzelőanyag fajta elégetéséből keletkezik. 2017-ben a legnagyobb volumenű kibocsátásért a szénből nyert energia tehető felelőssé, de közel hasonló nagyságrendet képvisel a kőolajszármazékok hasznosítása során keletkező széndioxid is. A szén elégetéséből elsősorban az ipar és az energetika ágazat az olaj felhasználásából pedig az energiaelőállítás mellett döntő hányadban a közlekedési szektor jut energiához. A fenntartható fejlődés érdekében felvázolt jövőképhez tartozó, elvárt emisszió értékek a szén és az olaj nagymértékű

háttérbe szorulását vetítik előre. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy az ipar és az energia-előállítás a karbonmentes forrásokra épülő új technológiák előretörését fogja előnyben részesíteni. A közlekedés-szállítás területén szintén erőteljessé válik a karbonmentes technológiák penetrációja. A prognózis szerint a földgáz felhasználás mértéke közel állandó marad a következő 20 év során is. Valószínűsíthető, hogy a földgáz kiemelt szerepe továbbra is megmarad az épületek fűtése, a villamos hálózatszabályozás és az ipari felhasználás területén.

A karbonkibocsátás csökkentése szempontjából a három kiemelt ágazati terület érintő lehetséges intézkedések egymással összefüggenek. Az ipari technológiákban a digitalizáció vagyis az automatizálás előtérbe kerülése hozhat értékelhető változást. A közlekedés-szállítás területén az elektromobilitás vagyis a villamos hajtású járművek terjedése fog lendületes változást előidézni. Mindkét esetben az elektrifikáción alapuló változások várhatóak. Az elektrifikáció azt jelenti, hogy a hagyományos technológiákat felváltják a villamosenergiát felhasználó berendezések, előtérbe kerül a villamosenergia használata. A sikeres energiaátmenetet elősegíti a nagyon magas szintű automatizálás vagyis az okos rendszerek alkalmazása, amely az energiahatékonyt növelve jelentősen mérsékelni fogja az energiaigényeket.



5. Ábra: A globális szén-dioxid kibocsátás összetétele és mértéke ágazatonkénti bontásban, 2017-ben és 2040-ben Mtonnában megjelenítve (saját szerkesztés WEO 2018 alapján) [1].

Az energia-iparágban van a legnagyobb szükség termelési szerkezet átalakítására. A teljes emisszióból a legjelentősebb hányadot képviseli és a széles körű elektrifikáció a villamosenergia-igény szignifikáns növekedését fogja eredményezni. Az emberiség folyamatosan növekvő energiaigényét fenntartható módon csak a villamosenergia-termelő technológiák teljes átalakulása tudja kiszolgálni. A World Energy Outlook a lehetséges jövőképekre többféle alternatívát is vizsgál. Ezek a Jelenlegi Energiapolitikák, az Új Energiapolitikák és a Fenntartható Fejlődéshez kalkulált feltételek. Az 5. ábra a fenntartható fejlődés eléréséhez szükséges, 2040-ig terjedő időszakra prognosztizált emisszió csökkentési trendhez tartozó szén-dioxid kibocsátási értékeket szemlélteti a 2017. évben regisztrált értékekkel összevetve ágazatonként. Az előzőekben tárgyaltak szerint nemcsak szükségszerű az

energia ágazat átalakítása, de a klímavédelem szempontjából a legnagyobb szerkezeti átalakulási és technológiai fejlődési potenciál is itt mutatkozik.

GLOBALIS ENERGIAFELHASZNÁLÁS ÉS TERMELÉS

Kitekintés a 2040-ig tartó időszakra

A szakpolitikusok előrejelzései szerint a következő 20 év végéig a fejlődő világ városainak létszáma 1,7 milliárd fővel fog gyarapodni a 2017-es állapothoz képest. A világban végbemenő változásoknak köszönhetően 2040-re a globális energiaigény a három évvel korábbi értékeket egynegyedével fogja túlszárnyalni. A növekedés mértéke kétszeres lenne a fenntartható fejlődés érdekében tervezett energiahatékonysági intézkedések hiányában [1].

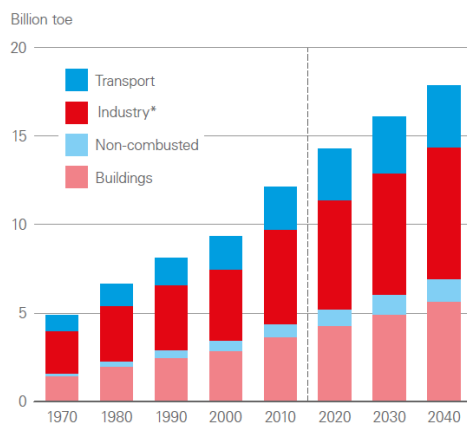
A társadalmi és gazdasági változásokat jól jellemzi, hogy 2000-ben a globális energiaigény valamivel több, mint 40%-át az USA és Európa felhasználása jelentette, míg Ázsia fejlődő gazdaságai 20% körüli részesedést tudhattak magukénak. 2040-re a világ energiafelhasználási arányaiban teljes átrendeződés várható [1].

2040-re az emberiség létszáma közel 9,2 milliárd főre emelkedhet. Ebben az időintervallumban a világ gazdasági bővülésének csaknem 80%-át a termelékenység (GDP/fő) növekedése fogja kitenni. A tendencia eredményeként több mint 2,5 milliárd alacsony keresetű ember fog magasabb jövedelmi szintre lépni ezzel erősítve a középosztály kiszélesedését. Ez az energia fogyasztás mértékére is pozitív, igénynövelő hatással lesz. Előre láthatóan a következő húsz év gazdasági növekedésének 80%-át a fejlődő országok fogják generálni, amelynek felét Kína és India fogja eredményezni. Afrika várhatóan továbbra sem tud kilépni az alacsony termelékenység állapotából. A világ népesség gyarapodásának csaknem felét Afrika fogja produkálni, azonban a globális GDP bővüléséből alig 10%-kal fogják kivenni a részüket. A fejlődési mutatók jellemzéséhez be kell vonnunk az energaintenzitás fogalmát, amely azt mutatja meg, hogy egységnyi GDP növekedéshez mennyi energia szükséges. A tudatos energiafogyasztás és a technológiai fejlődés eredményeként javulni fog az energaintenzitás, amely az energiahatékonyság növekedését is jelenti egyben. Ennek köszönhető, hogy a több mint kétszeres globális gazdasági növekedés alig egyharmad többlet energiaigényt fog jelenteni [5]. Az energiafelhasználási trendek szerkezeti elemzését három fő szempont szerint érdemes elvégezni a következőkben taglaltak szerint.

Az energiaigény szektoronkénti megoszlása

Jelenleg a globális energiafelhasználás csaknem felét az ipari szegmens igényli. A közlekedés 21%-kal, a lakó és a kereskedelmi épületek 29%-kal veszik ki a részüket.

A globális energiaigény növekedésére minden ágazat hatással lesz. A legnagyobb növekedés az iparban és az épületek szektorban lesz tapasztalható, amelyek együtt a teljes növekedés háromnegyedét fogják kitenni. Az energiaigény növekedés üteme minden ágazatban lelassul az energiahatékonyság folyamatos javulásának köszönhetően. Az energiahatékonyság növekedése a közlekedési ágazatban lesz a legerősebb. Ennek következtében az energiafelhasználás növekedési üteme kisebb lesz, mint az elmúlt húsz évben tapasztalt bővülési ráta 50%-a. Az ipari szektor energiaigény-növekedés lassulásának sajátosságai közé tartozik, hogy a nem elégetés céljára, hanem a petrokémiai eljárásokkal előállított termékekre fog erőteljes kereslet jelentkezni a jövőben [5].

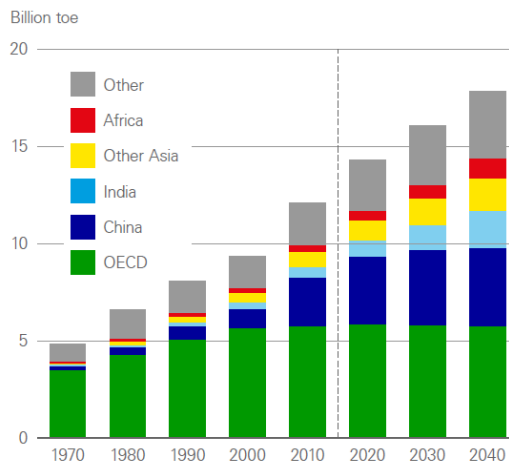


6. Ábra A globális energiafogyasztás ágazatonkénti megoszlása [5].

A gazdasági növekedés eredményeként az emberek egyre szélesebb rétegei számára lesznek elérhetőek a jóléti és kényelmi vívmányok. Az épületek hűtése, fűtése, szellőztetése, világítása, automatizálása és az elektromos készülékek elterjedése a létesítmények határozott energiaigény-növekedését vonzzák maguk után. Az szakpolitikai döntések illetve a szemléletformálás eredményeként meghatározó jelentőségű, hogy az energiafelhasználás növekedését kövesse a fogyasztói berendezések modernizációja. Korszerű technológiák jelenjenek meg a magasan automatizált rendszerekben az elektrifikáció térnyerése következtében.

Az energia igény régiókénti megoszlása

Az energiaátmenet egyik döntően meghatározó jellemzője, hogy az energiafelhasználás súlypontjai régióként áthelyeződnek. A globális energiaigény-növekedés hajtóerejét a fejlődő országok fogják jelenteni.

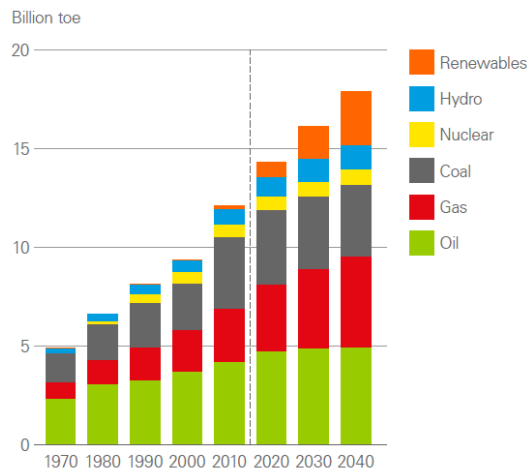


7. Ábra: A globális energiafogyasztás régiónkénti megoszlása [5].

A fejlődő régiók gazdaságilag húzó országai Kína és India maradnak, így az energiaigény-növekedésben szintén domináns szerepet fognak továbbra is betölteni. Az Ázsiai régiók energiafogyasztásának emelkedő trendjét a termelés növekedésén túl az életszínvonal javulása is eredményezni fogja. Az egy főre jutó energiafogyasztást a növekvő jólét is nagyban befolyásolja majd. Az energiapiac átrendeződését jól szemlélteti, hogy 1990-ben a világ energiafogyasztásának kétharmadát az OECD országok fogyasztása tette ki. 2040-re az OECD országok szinte stagnáló energiaigénye már csak a teljes felhasználás egyharmad részét jelenti. India energiaigény-növekedési üteme már 2025 körül meghaladja Kínáét, amely jelenleg a világ legnagyobb fejlődési trendjét képviseli. Annak ellenére, hogy India fejlődési üteme 2040-ig Kína előtt fog járni, a kínai fogyasztás 2040-ben még mindig több mint kétszerese lesz, mint az indiai. Afrika a meglepetéseket tartogató földrész lehet, ugyanis jelenleg becsülhetően 2040-re a teljes populáció 25%-át kitevő népességgel a globális energiafogyasztásból mindössze 6% körüli részesedéssel fog rendelkezni [5].

Az energia igény megoszlása a primer források szerint

A fenntartható fejlődés megvalósíthatóságának elsődleges feltételei közé tartozik, hogy a szén-dioxid-kibocsátást drasztikus mértékben csökkentsük. Ez csak abban az esetben válik lehetségessé, ha a legnagyobb emisszióforrásokat megvizsgáljuk és feltárjuk a csökkentés lehetséges módozatait. A légtérbe jutó széndioxid legnagyobb arányú kibocsátását az energiafelhasználásunk okozza. A következőkben azt vizsgáljuk meg, hogy a tüzelőanyagok aránya hogyan alakult 1970-től a közelmúltig és a szakpolitika szerint milyen változáson fog átmenni az energiamix szerkezete a 2040-ig tartó viszonylatban.



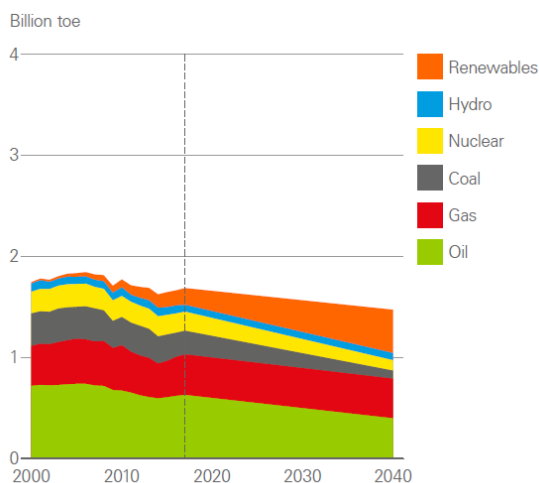
8. Ábra: Az energiaigény szerkezete a primer források szerint[5].

Az energia átmenet a tüzelőanyag szerkezeti összetételben a karbonmentes energiaforrások arányának növekedését hozza. Az alacsony széndioxid kibocsátású energia előállítás felé vezető folyamatban a megújuló bázisú termelés és a földgáz szerepe fog egyre nagyobb hangsúlyt kapni a szén- és olajfelhasználás mennyiségéhez viszonyítva.

Az energiafogyasztás növekedésének nyertese a megújuló energia ágazat. A leggyorsabban növekvő primer energiaforrás, amely a növekedési volumen csaknem felét

fogja biztosítani. A fosszilis tüzelőanyagokhoz képest a földgáz jelentősége is erőteljesen növekedni fog. A globális energiaigény-növekedés több mint 80%-át a megújulók és földgáz bázisú források növekedése fogja biztosítani. Ez az arány, ezek kiemelt fontosságát is jól szemlélteti az energiaátmenet során. A megújuló energiák a 2020. évi 0,8 milliárd toe (tonna olaj-egyenérték) mennyiségről 2040-re már valószínűleg 2,7 milliárd toe értékre fogják növelni részesedésüket. A 2040-re várható energiamixben ez 15%-os megújuló arányt fog jelenteni. A nukleáris energiatermelés enyhe növekedése várható a jelenlegi mértékéhez képest [5].

A földgázfogyasztás növekedésére irányítja a figyelmet, hogy 2040-re a részesedése meghaladja a szén felhasználását és megközelíti az olaj igénybe vett mennyiségét. Az olajfogyasztás növekedési üteme lelassul és 2030 után a felhasznált mennyiség szinte állandó értéken fog maradni. 2040-re a szénfelhasználás mennyisége elkezd csökkenni az energia előállítási szerkezetben. Erre az ipari forradalom óta nem volt példa. A szén jelentőségének csökkenése az energiamixen belül nyomon követhető akkor is, ha jellegében egymástól teljesen eltérő régiók primer energiaforrás szerkezetét vesszük szemügyre [5].



9. Ábra: Az Európai Unió energiafelhasználás szerkezete a primer források szerint [5].

Az Európai Unióra jellemző energiaátmenetben a 20 évvel ezelőtti szerkezet 2040-re teljesen átalakul. A 2000-es éveket még a fosszilis források erőteljes dominanciája jellemzi. A fogyasztási szerkezetben az olaj jutott legnagyobb szerephez. A széntüzelés mértéke magasabb volt, mint a tiszta energiahányad részesedése összességében véve. Az energiafelhasználás karbonlábnyomát a nukleáris bázisú termelés tudta csökkenteni leginkább. Az energiaátmenet folyamatában a széntüzelés és az olajfelhasználás határozott csökkenési trendje figyelhető meg. Az EU teljes energiafogyasztása is szignifikánsan csökkenő tendenciát mutat betudhatóan az energiahatékonysági intézkedések bevezetésének. Az elektrifikációnak köszönhetően a digitalizáció terjedése az egyre magasabb szintű automatizáláson keresztül érvényesíti az energiafogyasztás mérséklését. A villamos energia egyre szélesedő felhasználási palettáján belül a termékek korszerűsítése és a gyártástechnológiák fejlődése

a javuló hatásfokú energiahasznosítást szolgálja. A felhasználási szerkezetben előtérbe kerül a villamos energia. 2040-re a vízerőművek termelésének változatlan volumene mellett a megújuló bázisú termelésé lesz a főszerep. A csökkenő összefogyasztás és az energiatudatos szemlélet térhódítása ellenére a földgáz fogyasztás mértéke várhatóan nem fog csökkenni. Ennek oka egyrészt abban keresendő, hogy az épületek fűtésében továbbra is meghatározó lesz a földgáz igény. A másik ok, amely az előzőnél érdekesebb lehet az a földgáznak a villamos hálózatok stabilitásának fenntartásában betöltött szerepéhez kapcsolódik. A döntően fosszilis bázisú alaperőművek forgógépes blokkjait az időjárásfüggő megújuló termelés fogja kiváltani. Az időjárás függvényében változó termelési jelleget valahogyan a szintén folyamatosan változó fogyasztói igényekhez kell igazítani. Ebben van kiemelt feladata a gázturbináknak, mint rugalmassági kapacitásoknak. A kieső hagyományos erőművi turbógenerátorok kapacitását részben fotovoltaiuk naperőművek pótolják majd. Ez több más hatás mellett azzal a vonzattal fog járni, hogy az együttjáró villamosenergia-rendszerből jelentős villamos inercia fog hiányozni. A 2040-ig tartó kitekintésben a helyzetet tovább súlyosbítja, hogy az EU-n belül a jelenlegi energiapolitika következtében, várhatóan csökkenni fog a nukleáris részarány. A rendszer nyomaték veszteségén túl a forgógépek a hálózati meddőszabályozásból, vagyis a rendszerszintű feszültségtartásból is hiányozni fognak. Az atomerőművek termelése nélkül a klímavédelmi törekvések sem teljesülhetnek [5].

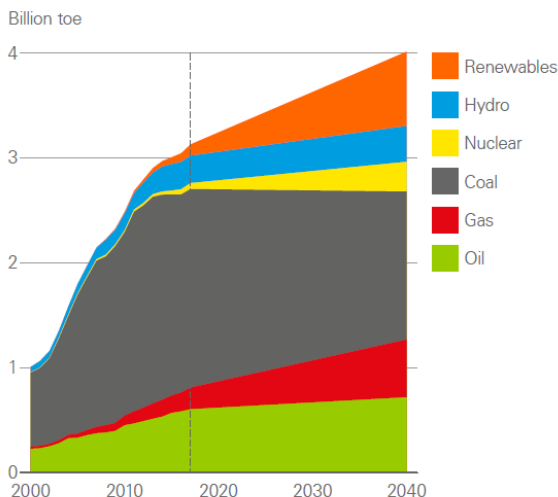
A Németországban található reaktorok leállítását követően a szenes erőművek termelése ismét nagyobb szerephez jutott belföldi és import szinten is. Scott J. Callan és Janet M. Thomas, 2004-ben megjelent *Environmental Economics & Management* tanulmánya szerint, amennyiben az EU leállítaná az atomerőműveit és a hiányzó termelést fosszilis forrásból pótolná az évente 700 millió tonna többlet szén-dioxid-kibocsátással járna [2].

Az Amerikai Egyesült Államok energia átmenete nagyon hasonló szerkezeti tendenciákat mutat. Az eltérés abban nyilvánul meg, hogy a 2040-ig tartó időszakban az összefogyasztás nem fog változni és a folyamatosan csökkenő olaj és szén részesedés helyét a földgáz felhasználás növekedésével fogják pótolni [5]. Fel kell készülniük arra is, hogy a közeljövőben a jelenleg megbízhatóan termelő atomerőmű flottának egymáshoz közeli időszakban le fog járni az üzemeltetési engedélye. Jelenleg csupán kettő APR 1000 blokk épül a Vogtle 3-4. További hat nagy nukleáris blokk rendelkezik kiadott létesítési engedéllyel, azonban az építés tényleges megkezdéséről még nem született meg a tulajdonosi döntés. Az előírányzott SMR (Small Modular Reactors) technológia fejlesztés alatt van, még nincs kereskedelmi szakaszban.

A világon a legtöbb energiát felhasználó Kína primer energiaforrás-szerkezetét is érdemes górcső alá venni. A teljes energiafelhasználás 2010-ig töretlen drasztikus emelkedési üteme mára jelentősen visszaesett, azonban még így is egyötödével fog emelkedni az energiaigényük a kitekintési időszak végére a 2017-es értékhez képest. Kína rendelkezik csaknem minden típusú nukleáris blokk megépített változatának tulajdonjogával és már üzemeltetési tapasztalatával is, illetve maga is fejlesztett önálló blokk típust [5].

Az óriási mértékű szénfelhasználás erőteljes növekedési ütemében 2010. után erős megtorpanás tapasztalható. A 2017. évi nagyjából 60%-os szén részarány a szakpolitikai becslések szerint 2040-re mintegy 35%-ra fog mérséklődni. A növekvő igényeket a csökkenő szénfelhasználás mellett a földgáz, a megújuló és nukleáris alapú termelés erősödő térnyerése jellemzi. Kína 2040-re több mint 1000 TWh éves nukleáris bázisú termeléssel fog gazdálkodni, 120 GW beépített kapacitással. Ez nagyjából meg fog egyezni az OECD

országok együttes atomenergia termelésével erre az időpontra. A vízenergia és a kőolajfogyasztás közel állandó értéken őrzi helyzetét az energiamixben [5].



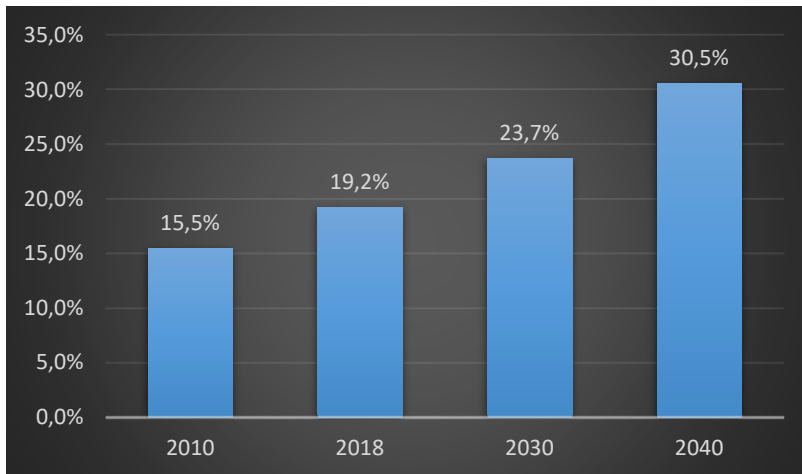
10. Ábra: Kína energiateljesítés szerkezete a primer források szerint[5].

Ázsia másik nagy energiateljesítője India. A 2017. és 2040. közötti időszakban megduplázódó felhasználásukat döntően a teljes fogyasztással arányos széntüzeléssel fedezik. A többi primer forrás igénybe vétele is növekvő tendenciát produkál, azonban együttes súlyuk sem közelíti meg a szén uralmát, ebből következően igen nagy CO₂ kibocsátó marad [5].

A villamosenergia-felhasználás és termelés a fenntarthatóság kulcsa

Az energiaátmenet kiemelt szerkezeti eleme a villamosenergia használata lesz. A fenntartható fejlődésben az ellátásbiztonságban és az emisszió csökkentés lehetőségeiben már jelenleg is központi szerepet foglal el és a jelentősége folyamatosan erősödő tendenciát mutat az előrejelzések szerint. A villamosenergia felhasználása teszi lehetővé a digitalizáció széleskörű használatát így a gazdaság minden szegmensében az automatizálás biztosította lehetőségek előnyre alakítását. Elsődleges szempont, hogy az előállított villamosenergia milyen primer forrásból származik. A növekvő villamosenergia-igény kielégítését a termelői oldalon a fenntartható fejlődést szem előtt tartva, tehát a karbon lábnyom folyamatos csökkentése mellett kell biztosítani. A karbonkibocsátás-mentesen üzemelő erőművek a megújuló és a nukleáris bázisú energiatermelő technológiák közül kerülhetnek ki.

A villamosenergia szerepét a dekarbonizációs célok teljesítésében jól érzékelteti, hogy a végső felhasználáshoz viszonyítva a jelenlegi 19 %-os részesedése több mint 30 %-os értékre fog növekedni. A gazdaságilag fejlett országok jórészt ennek betudhatóan lesznek képesek folyamatosan csökkenteni a végső energiaigényük mértékét az energiaintenzitásuk folyamatos javításával. A fenntarthatóság érdekében átlagosan évi 3,6 %-kal kell csökkennie a teljes energiateljesítésnek 2040-ig. Önmagában a növekvő villamosenergia részarány még nem oldja meg a klímavédelemmel kapcsolatos feladatokat. Azt is el kell érni, hogy a villamosenergia előállítása tiszta azaz karbonmentes forrásból valósuljon meg.



11. Ábra: A fenntartható fejlődésben a villamosenergia részaránya a végső fogyasztáshoz képest %-ban megadva[6].

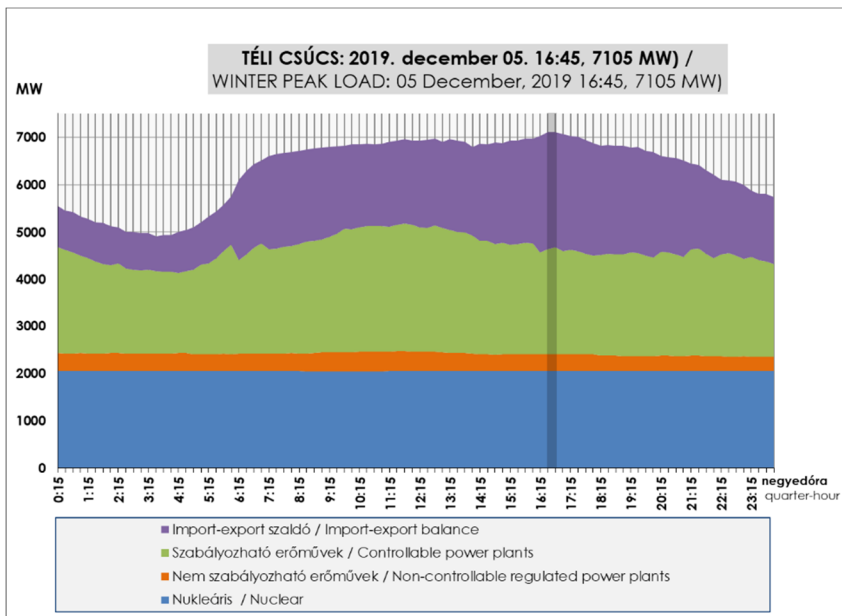
A villamosenergia-igény ellátásához biztosítani kell a termelő kapacitásokat. Ehhez a meglévő kapacitások fenntartása és a növekedési trend követése szükséges az előállító oldalon. Az energiaátmenetben a klímavédelem szempontjából a nagy fejlődési ívet felmutató megújuló források és az innováció erőteljes szakaszában levő CCUS technológiák mellett a nukleáris energia szerepe megkérdőjelezhetetlen a tiszta energiaátmenetben.

Amennyiben nem történnek atomerőművi üzemidő hosszabbítások és nem indulnak új beruházások a fejlett gazdaságokban, abban az esetben 2040-re a beépített atomerőmű összteljesítmény az egyharmadára fog csökkenni a 2018-as állapothoz képest. Ez a klímavédelemre és a villamosenergia árakra is erősen negatív hatást gyakorolna. A helyzetet nehezítik a nap, mint nap tapasztalt negatív kampányok, a költség és a határidő túllépésekre hivatkozó propaganda. A fejlesztés alatt álló kisméretű moduláris reaktorok piaci megjelenése hozhat széleskörű pozitív fogadtatást és új lendületet a nukleáris kapacitásokat bővítő beruházásoknak. A kieső illetve elmaradó nukleáris kapacitások esetén az egyébként sem könnyű fenntartható fejlődéshez szükséges emisszió csökkentési célok eléréshez jóval nagyobb erőfeszítések kellenének. A rendszerből ílymódon hiányzó atomerőművek helyettesítése megújuló forrásokkal becsülhetően legalább 1,6 trillió USD többlet beruházási költséget jelentene a 2040-ig elemzett időszakban [6].

Kiváltható-e az atomerőmű napelemekkel?

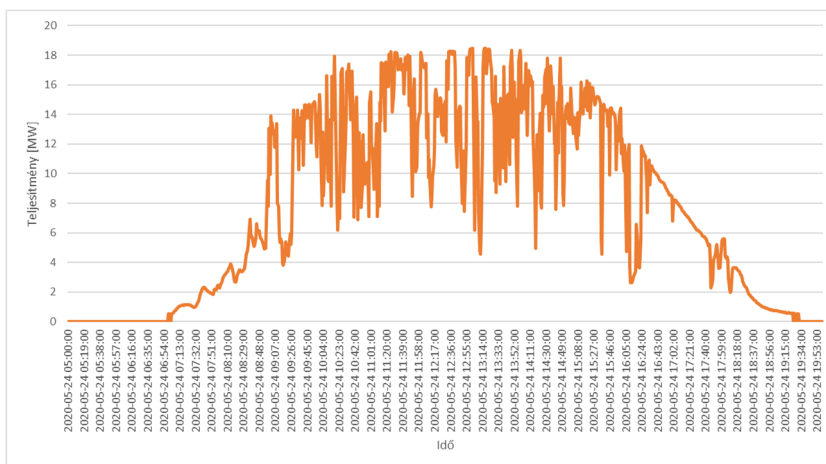
Vizsgáljuk meg, hogy az atomerőművek kiválthatóak-e megújuló forrásokkal? Nézzük meg a kérdést tényszerűen, műszaki szempontból tárgyilagosan vizsgálva. Az előzőekben ismertetett trendek és prognózisok szerint a mindenben túlmutató bővülés az időjárásfüggő megújuló források térnyerését fogja jelenteni. Ezek a nap és a szélenergiák. Vegyük alapul a magyarországi tiszta energiák fővárosában üzemelő két nagyerőművet. Az MVM Paksi Atomerőmű 2000 MW beépített teljesítménnyel, a Paksi Naperőmű 20,68 MWp telepített napelem kapacitással és 17,2 MW inverter kapacitással állít elő villamos energiát. 2019-ben az atomerőmű alaperőműként 92,36%, míg a naperőmű 15% teljesítménykihasználási tényezővel üzemelt. Ez már önmagában is azt jelenti, hogy az

atomerőmű minden MW-nyi beépített teljesítményéből több mint hatszor annyi villamos energiát nyerünk egy év alatt, mint a naperőmű egy MW-nyi telepített kapacitásából. Tehát számszakilag a Pakson üzemelő atomerőmű által megtermelt energia mennyiséget 12315 MWp összteljesítményű, Paks város környékére telepített fotovoltaikus panel tudta volna előállítani 2019-ben. Ez a napelem mennyiség csaknem 600-szorosa a Paksi Naperőműben jelenleg termelő panelek mennyiségének. A Paksi Naperőmű 50 hektár területet vesz igénybe. Tehát a kiváltáshoz szükséges napelem mennyiséget a jelenlegi méret 600-szorosán azaz 30000 hektár területen lehetne elhelyezni. Az atomerőmű teljes területe, beleértve a kiszolgáló létesítményeket és az 5-6 blokkok fejlesztésre kijelölt helyét is mindössze 460 hektár. A naperőmű létesítéséhez sík, árnyékhatás-mentes, ár- és belvízmentes, gyenge termőképességű, jó megközelíthetőségű terület szükséges, közeli, stabil hálózati csatlakozási csomóponttal. A kifejezetten stabil hálózati csatlakozási lehetőség azért szükséges, mert a napelemek az időjárástól tehát a napsugárzás intenzitásától függően termelnek. Ez egy meglehetősen hektikus termelési görbét eredményez, amelynek hálózatra gyakorolt hatása a villamos paramétereket negatívan befolyásolhatja. A 30000 hektár méretű, napelemek telepítésére alkalmas terület és a kitáplálendő villamos teljesítmény fogadására alkalmas hálózat kialakítása valamint finanszírozási forrásigénye meglehetősen nagy kihívást jelentene. Azonban itt még nem állhatunk meg az összevetésben ugyanis az alaperőmű a nap 24 órájában, folyamatosan és egyenletesen, névleges kapacitása közelében termel. Egy ilyen gigantikus méretű naperőmű a nap sugárzás függvényében időszakonként a fogyasztói igények szerinti menetrend többszörösét, máskor a töredékét állítaná elő és előfordulna, hogy a napsugárzás hiányában semmit sem termel. Az eddig mért hazai legnagyobb csúcsterhelés a 2019. december 5-én mért 7105 MW volt. Látjuk, hogy a fogyasztói igények és a termelés viszonylatában értelmezett, többletként megtermelt energiát raktározni a hiányzót pedig pótolni kellene. A 12 315 MWp összteljesítményű beépített napelem mellé már extrém méretű több ezer MWh energiátároló kapacitást is szükséges lenne telepíteni. Nem hagyhatjuk figyelmen kívül a különböző létesítmények eltérő élettartamát sem. Az MVM Paksi Atomerőmű 50 éves üzemideje alatt a 25 évre tervezett naperőmű potenciált kétszer kellene megépíteni. Ezen felül további műszaki feladat lenne a hálózati topológiák átalakítása a decentralizált betáplálási pontokhoz alkalmazkodva, amely a hálózat bővítésén túl magával hozná a rendszerszintű villamos védelmi és automatika rendszerek filozófiájának újragondolását valamint teljes átalakítását is. Az előző mennyiségi adatok és a nyilvánosan közzétett fajlagos létesítési költségek alapján a bekerülési költségek különbsége is könnyedén kiszámítható. Végül, de nem utolsó sorban nem hagyhatjuk figyelmen kívül az együtt járó rendszer villamos nyomotékát és a hálózat feszültségszabályozásához szükséges meddő teljesítmény-gazdálkodást sem, amelyek megvalósulása egyelőre csak a forgógépes termelőkhöz köthető.



12. Ábra: 2019. december 05. napi terhelési diagram [7].

A fenti ábrán a 2019. év legnagyobb hazai csúcsterhelési érték elérésének idején a napi terhelési görbe látható a termelési szerkezettel együtt megjelenítve. A grafikon jól szemlélteti a termelési technológiák jellemzőit. Az MVM Paksi Atomerőmű 2000 MW nagyságú stabil zsinórtermelése fölött a szabályozhatatlan erőművek keskeny sávja található. A nukleáris részesedéssel összevethető mértékű a szabályozható erőművek által képviselt villamos teljesítmény, amely döntően a lignit-szén tüzelésű és a gázturbinák üzemelő kapacitását jelenti. A felhasználók által igénybe vett teljes teljesítmény egyharmada viszont a határkeresztesző kapacitásokon beáramló import hányad, amely a jelentős energiaellátási kitétségünkről tanúskodik [7].

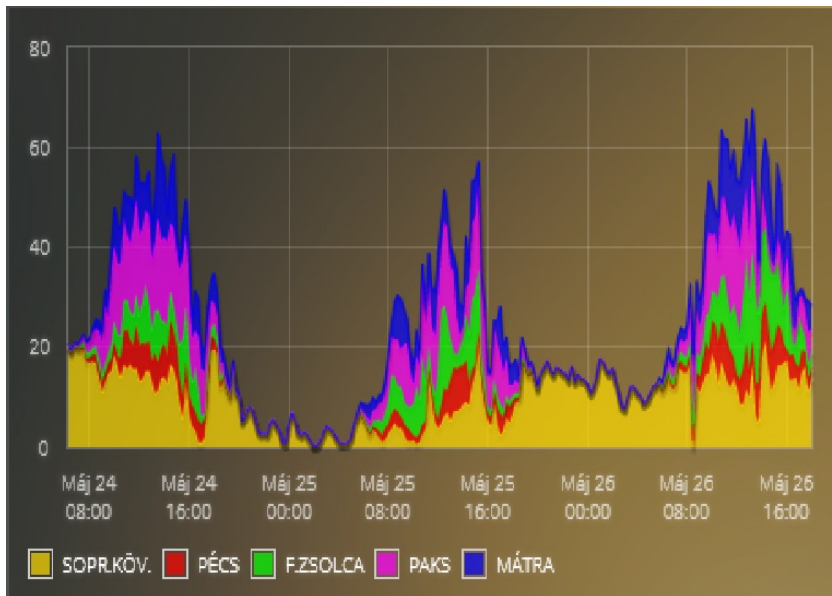


13. Ábra: A Paksi 20,6 MW-os Napenergia napenergia napi termelési diagramja [7].

Az országos teljesítményigény napi terheléseloszlás grafikonján az MVM Paksi Atomerőmű alaperőművi termelésre jellemző egyenes és egyenletes teljesítmény sávja látható. Az időjárásfüggő megújuló termelési görbéjére jó példa egy szintén Pakson, de a 20,68 MWp beépített teljesítményű fotovoltaikus naperőmű, 2020. május 24-én kitáplált teljesítménye a nap folyamán. Jól látható az inverterek indulása a reggeli órákban és kikapcsolása a kora esti időszakban. Az átvonuló felhők okozta termelési görbe beszakadások jól érzékeltetik az időjárási viszonyoknak való termelési kiszolgáltatottságot. Amit érdemes a grafikon alapján megjegyezni, hogy villamosenergia felhasználási igény akkor is jelentkezik, amikor nem üzemelnek a naperőművek. A hálózati szabályzókapacitásokat a fogyasztói igényváltozáson túl az előre nehezen kiszámítható termelés-ingadozásokhoz is figyelembe kell venni. A hálózati csatlakozási pont kellően stabil kell, hogy legyen, tehát nagy mögöttes teljesítménnyel kell, hogy rendelkezzen.

Van olyan álláspont, amely szerint az ország eltérő földrajzi helyein üzemelő megújuló bázisú erőművek termelését nem ugyanabban az időszakban befolyásolja ugyanaz a természeti hatás, ezért azok kiadott teljesítmény értékei kiegyenlíthetik egymást. A következő diagram az ország egymástól távoli pontjain elhelyezkedő nagy beépített teljesítményű megújuló bázisú, szél és nap erőművek összesített termelési görbéjét mutatja be. A grafikon vizsgálatakor megállapítható, hogy a „perces” időtartamokon belül valóban lehetséges a görbék átfedése, azonban az összegzett teljesítmény görbe is megőrzi a jellegzetes időjárásfüggő hektikus változását. A szakpolitika és a villamosenergia ipar kiemelt feladata az időjárásfüggő megújuló bázisú erőművek villamosenergia rendszerbe integrálása. Ez egy folyamatos és hosszútávú intézkedés sorozat, amely kiterjed a hálózati topológiák átalakítására, a védelmi és automatika filozófiák újra gondolására, a hálózati bővítésekre valamint a villamos inercia és meddőszabályozás teljesítményelektronikával történő megoldására.

Az előzőekben említett sajátosságok következtében az időjárásfüggő megújuló bázisú villamosenergia termelés jelenleg nem tudja kiváltani az atomerőmű alaperőművi termelését és nem tudja megoldani a hagyományos forgógépes energia előállításához köthető rendszerjellemzők biztosítását sem. A megújuló források hasznosítása révén felhasznált energiamennyiség viszont csökkentheti az áramimport mennyiséget, így növekvő részarányuk indokolt lehet az alaperőművi termelés kiegészítéseként. A megújuló termelésének tehát nem az atomerőmű helyett, hanem a nukleáris energia hasznosítás mellett van helye az energiapolitikai jövőképben.



14. Ábra: Az MVM Zrt. tulajdonú nagy megújuló erőművek össztermelése 2020. május 24. és 26. között [8]

ÖSSZEFOGLALÁS

A világ energia felhasználásának csaknem 50 % - át a populáció alig 7 %-a fogyasztja el. 2040-re a Föld energia fogyasztása a jelenlegi értéket egy negyedével fogja meghaladni. A legnagyobb fogyasztás és egyben emisszió növekedéssel India és Ázsia veszi ki a részét, 2040-re megduplázva a jelenlegi energia felhasználását. Magyarország energia gazdálkodásában is jelentős fejlődési potenciál van. Az egy főre jutó GDP-re eső energia felhasználás az úgynevezett energia intenzitás több mint kétszerese a Nyugat Európai országok átlagának. Magyarország az Európai Unió energia és klímavédelmi politikáját követve elkötelezett a kontinens célkitűzéseinek végrehajtásában. Hazánk az EU által ránk szabott feladatoknál önként tett szigorúbb vállalásokat. Ezek kiterjednek a megújuló energiák térnyerésének mértékére, valamint az üvegház hatású gáz kibocsátás mennyiségének csökkentésére.

A Föld fenntarthatósága érdekében a megoldás a tiszta energiák használata, az energia hatékonyság és az energiatakarékosság kiterjesztése a gazdaság és a társadalom minden szegmensére, valamint azok következetes betartása. Az el nem fogyasztott energia szolgálja legjobban a környezetünk és jövőnk védelmét. A fenntarthatóság azt jelenti, hogy a jövő generációk részére megtartjuk annak a lehetőségét, hogy a saját életfeltételeiket biztosíthassák.

FELHASZNÁLT FORRÁSOK

- [1] International Energy Agency, World Energy Outlook, 2018. (WEO, 2018)
 [2] Rokhshad Hejazi (2017): International Journal of Sustainable Built Environment, Nuclear Energy: Sense or nonsense for environmental challenges. Science Direct 2017. július 08.

- [3] EPA United States Environmental Protection Agency (2020.): <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>
- [4] Európai Bizottság (2018): A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, az Európai Tanácsnak, az Európai Gazdasági Szociális Bizottságnak, a Régiók Bizottságának, az Európai Beruházási Banknak, Tiszta bolygót mindenkinek, Európa hosszútávú stratégiai jövőkép egy virágzó, modern, versenyképes és klímasemleges gazdaságról, Brüsszel, 2018.11.28. (COM 2018) 773 Final Center For Climate And Energy Solutions <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>
- [5] British Petrol Energy Outlook, (2020): <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html>
- [6] International Energy Agency, World Energy Outlook, 2019. (WEO, 2019)
- [7] MAVIR (2020) Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. adatpublikáció 2020.
- [8] MVM Zrt., (2020.) adatszolgáltatás a termelési megjelenítő rendszer adataiból