

SECURITY OF SUPPLY FOR SECURITY | ELLÁTÁSBIZTONSÁG A BIZTONSÁGÉRTMOLNÁR, Ferenc¹**Abstract**

We use the term energy in almost every area of our lives. Energy serves our lives in innumerable forms. Today, almost half of the energy used globally makes the lives of people living in cities more comfortable. This comfort also means a complete dependence on energy for civilization. Today, we live in an energy-based society, the development of which is ensured by an energy-based economy. Without usable energy, both would collapse. Heating, cooling, ventilation, all production would stop. Devices that require electricity would become unusable. Traffic would stop and all technical achievements would become inoperable. In the absence of electricity, law enforcement and national defense would also collapse. The groups of security science can be interpreted only in the case of the availability of electricity, such as security informatics, communication, cybernetics, operations research as well as the entire vertical of defense technologies.

Keywords

energy, sustainable development, energy supply, security of supply

Absztrakt

Az energia kifejezést életünk szinte minden területén használjuk. Az energia megszámlálhatatlan formájában szolgálja az életünket. Napjainkban a globálisan felhasznált energiamennyiség csaknem fele a városokban lakó emberek életét teszi kényelmesebbé. Ez a kényelem egyben az energiától való teljes függőséget is jelenti a civilizáció részére. Manapság energia alapú társadalomban élünk, amelynek fejlődését a szintén energia alapú gazdaság biztosítja. Felhasználható energia hiányában mindkettő összeomlana. Leállna a fűtés, hűtés, szellőztetés, minden termelés. Használhatatlanná válnának a villamos energiát igénylő eszközök. Megállna a közlekedés és minden technikai vívmány működésképtelenné válna. A villamos energia hiányában a rendvédelem és nemzetvédelem is összeomlana. A biztonságtechnikai tudomány csoportjai csak a villamosenergia rendelkezésre állása esetén értelmezhetőek, mint a biztonsági informatika, kommunikáció, kibernetika, operációkutatás csakúgy, mint a védelmi technológiák teljes vertikuma.

Kulcsszavak

energia, fenntartható fejlődés, energiaellátás, ellátásbiztonság

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

BEVEZETÉS

Az energia kifejezést életünk szinte minden területén használjuk, az energia megszámlálhatatlan formájában szolgálja a mindennapjainkat. Az energiát a tudomány különféle ágazatai is másképpen írják le a saját szempontrendszerük szerint. Az emberiség fejlődésének meghatározó mozgatórugója az energia felhasználásának minősége, mennyisége és folyamatosan gyarapodó számú hozzáférési formája. Napjainkban a globálisan felhasznált energiamennyiség csaknem fele a városokban lakó emberek életét teszi kényelmesebbé. Ez a kényelem egyben az energiától való teljes függőséget is jelenti a civilizáció részére. Manapság energia alapú társadalomban élünk, amelynek fejlődését a szintén energia alapú gazdaság biztosítja. Felhasználható energia hiányában mindkettő összeomlana. Megszűnne a fűtés, hűtés, szellőztetés, víz-, gázellátás, leállna minden termelés, használhatatlanná válnának a villamos energiát igénylő eszközök, megállna a közlekedés és minden technikai vívmány működésképtelenné válna. A villamos energia hiányában a rendvédelem és nemzetvédelem eszköztudománya is összeomlana. A biztonságtechnikai tudomány csoportjai csak a villamosenergia rendelkezésre állása esetén értelmezhetőek, mint a biztonsági informatika, kommunikáció, kibernetika, operációkutatás csakúgy, mint a védelmi és elhárítási technológiák teljes vertikuma. Itt említhetjük akár a social engineering technikákat [1] vagy a biometrikus azonosítási technológiákat [2] példaként. Az energia felhasználható formáiban történő rendelkezésre állása az emberi közösségek és az egyes emberek biztonságát is meghatározza. A biztonságot, mint állapotot a biztonságstudomány létező egészségnek nevezi. Ez az egészség fogalom az emberi test és a társadalom tökéletes állapotát fejezi ki. A biztonságstudomány az objektív valóságot kettős módon közelíti meg. Egyik vizsgálati irány a technológia hasznossága az egyéni és társadalmi fejlődés szempontjából. A másik megközelítési iránya ugyanennek a technológiának a negatív hatása az egyének egészségére és a környezet terhelésére. Ezzel összefüggésben kell megemlíteni a munkavégzés biztonságát is, amely a technológiai fejlődést követve kell, hogy kielégítse a folyamatosan változó követelményeket. A jelenkori energiafelhasználás mértékének egyik negatív hatása a Föld készleteinek mérhetetlen kizsákmányolása és a globális felmelegedés felgyorsulása. A globális felmelegedés ciklusok végig kísérik a Földtörténetet, azonban a több évmillió ciklust az emberi tevékenységek következménye ezt néhány száz évre rövidítette le. Ilyen például az üvegház hatást növelő gázok légkörbe történő fokozott kibocsátása. A Föld légkörének jelenlegi klímáját az üvegházhatás biztosítja. A Földet az üvegházhatást okozó gázok üvegbúráként veszik körbe. A jelenség az üvegház jelenségről kapta a nevét. A nap sugárzása áthatol az üvegen, felmelegíti a földfelszínt és a keletkező hő egy részét az üvegfalak, vagyis az üvegbúra magába zárja. Ez a jelenség biztosította a jelenlegi földi élet kialakulásához szükséges klimatikus viszonyokat és annak fennmaradásához is szükséges. Az ipari forradalom óta az emberi tevékenység hatására folyamatosan emelkedő mértékben egyre nagyobb mennyiségű a légtérbe juttatott üvegház hatású gáz. Ennek következtében egyre vastagabb a felhalmozódott üvegházhatású gázréteg, tehát folyamatosan erősödik az üvegházhatás, amelynek eredménye, hogy csökken a légkörből kijutó hőmennyiség. A légkör felmelegedésének erősödéséhez nagyban hozzájárul az odajuttatott hőmennyiség mértékének fokozódása is. A környezetbe jutó többlet hőmennyiség az általunk felhasznált energiák veszteségi hányadából származik. A legnagyobb veszteségi hőmennyiség és egyben üvegházhatású gáz kibocsátó szektorok az energia előállítás, a közlekedés-szállítás, az ipar és az épületek. Ezek egy része a mindennapi életünk biztonságát is szolgálja. A szektorok egyre

emelkedő energia felhasználását az egyes ember növekvő fogyasztása, a mára csaknem 8 milliárdnyi populáció folyamatos gyarapodása, valamint az elavult technológiák alkalmazása okozza. A tét nem kisebb, mint az emberiség túlélése, amely csak az élhető bolygónk megőrzésével lehetséges.

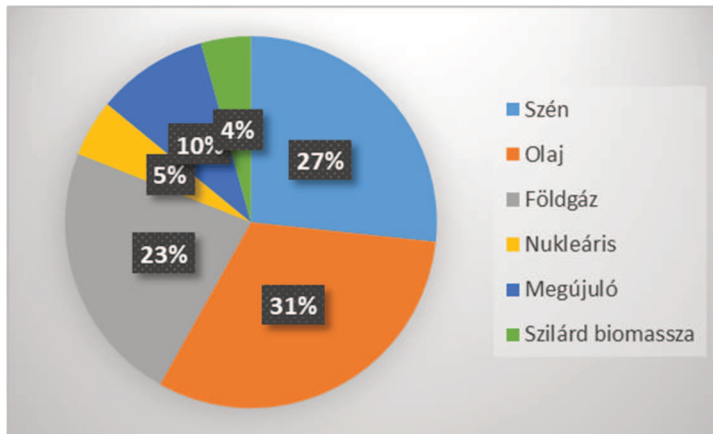
Az IPCC 2014-es adatai szerint üvegházhatást okozó gázok 76%-át a széndioxid teszi ki, amely az égési folyamatok következményeként termelődik [3]. Az IEA (International Energy Agency) által 2018-ban kiadott World Energy Outlook (WEO) alapján, 2017-ben a karbon emisszió közel 42%-át az energiatermelés, csaknem 25%-át a közlekedés-szállítás és 19%-át az ipari termelés okozta [4]. A globális fejlődés akkor válhat fenntarthatóvá, ha a folyamatosan növekvő energiaigényt drasztikusan csökkenő emisszió mellett tudjuk biztosítani, azaz meg tudjuk valósítani a tiszta energiák térnyerését az energiatermelési és felhasználási szerkezet összetételében. Az egyik kézenfekvő megoldási irány lehet az elektrifikáció valamint a digitalizáció kiterjesztése a közlekedési, az épületek és az ipari szektoron belül úgy, hogy ezzel egyidőben a növekvő villamosenergia-szükségletet karbonsemleges források alkalmazásával kell kielégíteni. A villamosenergia-termelésben meghatározó szerep jut a nukleáris bázisú technológiáknak az ellátásbiztonság, a széndioxid kibocsátás csökkentése és a klímavédelem érdekében.

GLOBÁLIS VILLAMOSENERGIA-FELHASZNÁLÁS ÉS TERMELÉS

Globális kitekintés

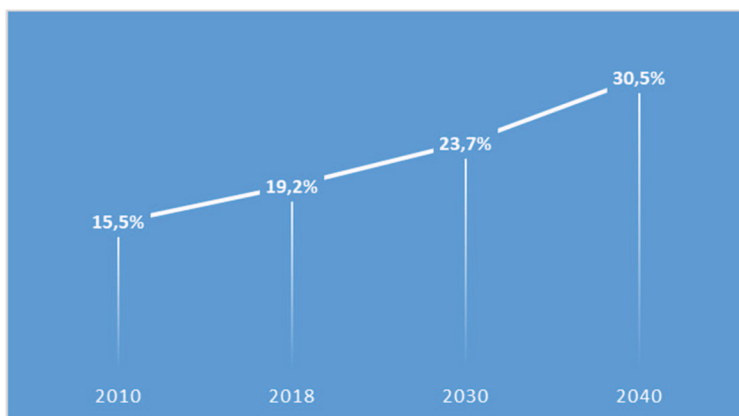
Az energiaátmenet kiemelt szerkezeti eleme a villamosenergia használata lesz. A fenntartható fejlődésben az ellátásbiztonságban és az emisszió csökkentés lehetőségeiben már jelenleg is központi szerepet foglal el és a jelentősége folyamatosan erősödő tendenciát mutat az előrejelzések szerint. A villamosenergia felhasználása teszi lehetővé a digitalizáció széleskörű használatát így a gazdaság minden szegmensében az automatizálás biztosította lehetőségek előnyé 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 nukleáris energia békés célú felhasználásának legnagyobb területe az energetika. Az atomreaktorok több mint fél évszázada megbízhatóan és nagy mennyiségben előállított tiszta energiával szolgálgják a társadalmi és a gazdasági fejlődést. Érdeemes áttekinteni, hogy milyen helyzetből indulunk az előttünk álló energiaátmenet kihívásainak megoldásához vezető úton.

A globális energia igény-növekedés folyamatában a 2010. óta eltelt időszakot vizsgálva a 2018. év produkálta a legnagyobb mértékű fogyasztásnövekedést ezzel elérve a 14314 Mtoe (Megatonna olaj-egyenérték) értéket. A 2018-as bővülés mértéke 2,3% volt, amelynek 70%-áért az USA, Kína és India együttesen voltak felelősek. Annak ellenére, hogy 2010. óta a primer energiaforrások közül a legnagyobb növekedést a megújuló források érték el a felhasználás több mint 80%-át 2018-ban még mindig a fosszilis forrásokból nyertük [5].



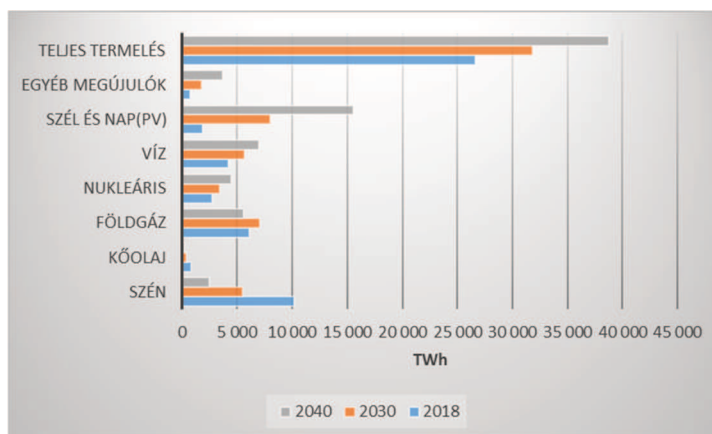
1. ábra: A globális primer energia felhasználás arányai 2018-ban (saját szerkesztés WEO 2019 alapján).

A szakpolitikai előrejelzések azt mutatják, hogy az előttünk álló 2040-ig tartó időszak éves energia-igény növekedése valamivel 1% felett fog alakulni ellentétben a 2000. óta tartó évi 2% emelkedési tendenciával. A gazdasági fejlődés várhatóan továbbra is erős marad azonban az energiahatékonyság előtérbe kerülésével a klímavédelem mellett az energiaigény kiszolgálása is biztonságosabbá válik. Az energiaellátó rendszerek fenntartható fejlesztése szempontjából nagy kihívást jelent a fejlődő országok városainak évi 70 milliónyi lakossal való bővülése. A fejlődő országok minden számukra könnyen elérhető primer forrást felhasználható energiává alakítanak. A fenntartható fejlődés érdekében az energetikán kívüli másik legnagyobb fosszilis forrásokat felhasználó szektor energiaátmenetét is érdemes áttekinteni. A szakpolitika előrejelzése szerint az olajfogyasztás üteme 2025. után jelentősen vissza fog esni, annak ellenére, hogy a személygépkocsik száma várhatóan 2018. és 2040. között további 70 %-kal fog emelkedni. Még inkább figyelemre méltóak az előző számok, ha azt is hozzávesszük, hogy az olajfogyasztás globális csúcspontja 2020. év végére várható. A fenntartható fejlődés energiaátmenete csak akkor lehet sikeres, ha a növekvő energiakereslet mellett is háttérbe tudjuk szorítani a fosszilis bázisú primer forrásokat a villamosenergia-felhasználás kiterjesztésével. A kőolaj felhasználása a közlekedésben a növekvő járműszám ellenére is 40%-kal kell, hogy csökkenjen 2040-re a 2018-as értékekhez mérten. A fenntartható fejlődésben a villamosenergia növekvő részarányát szemlélteti a következő diagram a teljes energiaigényhez viszonyítva. [5]



2. ábra: A fenntartható fejlődésben a villamosenergia részaránya a végső fogyasztáshoz képest %-ban megadva. (saját szerkesztés WEO 2019 alapján).

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 energaintenzitásuk folyamatos javításával. A fenntarthatóság érdekében átlagosan évi 3,6 %-kal kell csökkennie a teljes energiafelhasználásnak 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. Vizsgáljuk meg, hogy a villamosenergia előállítás szerkezeti összetétele milyen képet festett 2018-ban és a fenntarthatóság érdekében milyen arányban kellene a primer energiaforrásoknak részt vennie az energiamixben 2040-ben



3. ábra: A fenntartható fejlődésben a villamosenergia-termelés primer forrásainak részesedése a teljes előállításon belül TWh-ban megadva. (saját szerkesztés WEO 2019 alapján).

A grafikon egyik érdekessége, hogy az új megújuló források, azaz a szél és a nap erőteljes térnyerése mellett a kőolaj és a szén energetikai felhasználása folyamatosan és

drasztikusan csökken addig a földgáz szerepe 2030-ig még hangsúlyozottabbá válik. Felvetődhet a kérdés vajon mi indokolhatja ezt a látszólagos ellentmondást? A kérdés megválaszolásához érdemes az új megújuló, vagyis az időjárásfüggő termelők térhódításának a járulékos hatásait elemezni. A villamos hálózat stabilitását az együtt járó rendszerek egyensúlya biztosítja. A fogyasztói igényeknek és a megtermelt villamos energiának mindig egyensúlyban kell lennie. A fogyasztói igények folyamatos változását kismértékben a forgógépes erőművek nyomatéka nagyobb mértékben a rugalmassági kapacitások kompenzálják. A rugalmassági, vagyis szabályzó kapacitások az alap és a menetrendtartó erőművek által megtermelt villamos energia és a fogyasztói igények közötti rést hivatottak kitölteni. Szerencsés földrajzi adottságú országokban a duzzasztós vízerőművek kiváló karbonsemleges szabályozó források lehetnek. A duzzasztós erőművek folyókra épülnek és a gátrendszerük alkalmas arra, hogy a folyó vizének irányított visszatartásával szabályozottan engedjék át a vizet a turbinákon. A szabályozott villamosenergia termelésén túl a folyó hajózhatóságára is hasznos építmény. Ennek hiányában azonban a terhelési és termelési görbe közötti különbséget nagyon gyakran gázturbinákkal és gázmotorokkal tudják kiszabályozni. Az időjárás függvényében termelő megújuló bázisú erőművek hektikus termelésének és az elektrifikáció következtében egyre változatosabb formában felhasznált villamosenergia-igény változásának eredményeként minden eddiginél jóval nagyobb szükség lesz a különbség kiegyenlítésére. Amíg a korszerű energiatárolók fejlesztése és elterjedése nem hoz átütő eredményt addig a gázturbinák szerepe a hálózati paraméterek megőrzésében megkerülhetetlen. Kedvező természeti adottságú országok a villamosenergia rendszerük terheléskiegyenlítési és hálózatszabályozási feladataikat szivattyús-tározós erőművekkel is megoldhatják. Ebben az esetben egy tóból vagy folyóból a vizet a termelési időszakok többlet, olcsó energiájával felszivattyúzzák egy magasan mesterségesen kialakított tározóba. A tározóban felhalmozott vízmennyiséget a villamosenergia rendszer szabályozási igényei alapján engedik le a vízturbinákon keresztül, amelyek a villamos hálózatra termelnek. Ezek a leszabályozási feladatokban is hatékonyan részt vehetnek.

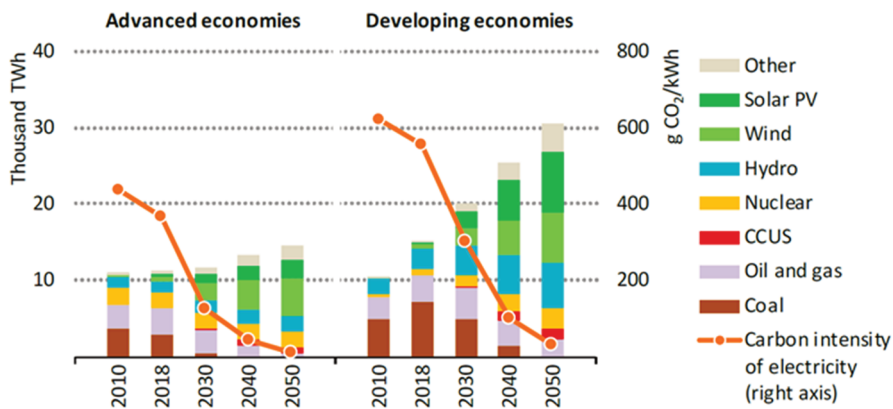
A nukleáris bázisú tiszta energia

A tiszta energia előállítás stabil és meghatározó eleme a nukleáris bázisú termelés. Az atomenergia energetikai hasznosítása a világ első atomreaktorában megvalósított szabályozott láncreakció beindításával kezdődött 1942. december 2-án. Az atomkort elindító első reaktort, amelyet atommáglyának neveztek el a Chicagói Egyetem stadionjának lelátója alatti teremben Fermi vezetésével épült meg, amelynek terveit többek között Szilárd Leó valamint Wigner Jenő készítette. Az ezt követő években a fegyverkezési verseny mellett az atomenergia békés célú felhasználása is forradalmi változáson ment keresztül. Az USA-ban, Idahóban 1951-ben már 200 kW villamos teljesítmény leadására képes reaktort keltettek életre. A világ első hálózatra termelő reaktora az Obnyinszki Atomerőműben létesült 1954-ben, 5 MW kapocsteljesítménnyel. Kereskedelmi céllal épült atomerőművet először 1957-ben Pittsburgh város villamosenergia-ellátása céljából létesítettek 3 év leforgása alatt. A 60 MW villamos teljesítmény kiadására készült nyomottvizes reaktor a haditengerészet anyahajó erőforrás szerepköréből polgáriarsult közcélú villamos termelővé. [6]

A kezdetektől a mába ívelő fejlődést a Nemzetközi Atomenergia-ügynökség által közzétett legfrissebb mennyiségi adatok jellemzik a legjobban. A világon jelenleg 441 ener-

getikai célú nukleáris reaktor üzemel összesen 390 113 MW beépített nettó villamos teljesítménnyel. A nukleáris kapacitás fenntartás és bővítés érdekében 54 reaktor épül világszerte összesen 57 441 MW tervezett nettó villamos teljesítőképességgel. Az atomerőművek jelentőségét igazolja a 18 505 összes reaktor év, amely az eddigi szolgálatuk eredménye. [7]

A klímavédelmi intézkedések közül a legfontosabbak közé tartozó széndioxid kibocsátás csökkentéséhez az atomenergia felhasználása nagymértékben hozzájárul. A szakpolitika prognózisa szerint a jelenlegi trendet alapul véve 2040-re a nap és a szél források termelése már dominálni fog a villamosenergia-termelésen belül és 2050-re már a teljes globális áramtermelés felét fogják adni. A vízenergia 17%-os részesedése mellett a nukleáris termelés 10%-os súllyal tartja meg nélkülözhetetlen szerepét az ellátásbiztonságban. A fenntartható fejlődéshez áttörésre van szükség bioenergiák hasznosításában is. Ezek hasznosítása a remélt 7%-os részesedést fogja elérni. A CCUS (Carbon Capture, Utilization, and Storage) új alkalmazott technológiaként teheti lehetővé 5%-nyi saját résszel a szén és földgáz tiszta energiaként történő felhasználását. A CCUS technológia egyelőre fejlesztési fázisban van, még nem piacépes. A CO₂ kivonás nélküli széntüzelést alkalmazó energiaátalakítási technológiák a fejlett gazdaságokban 2030-ig, a fejlődő gazdaságokból 2045-ig valószínűleg kivonásra fognak kerülni a termelési szerkezetből. A villamosenergia-ellátó rendszerek rugalmasságát a 2020-as évek végéig még a földgáz elégetésének fokozódása mellett lehet biztosítani. Ezt követően azonban az energiátároló technológiák előtérbe kerülése lesz jellemző így a gázturbinák átadhatják a helyüket a Storage szegmensnek. A következő ábrán azt követhetjük végig, hogy 2050-ig milyen energiaátmenetet kell megvalósítania a fejlett és fejlődő gazdaságoknak a fenntartható jövő érdekében. [5]

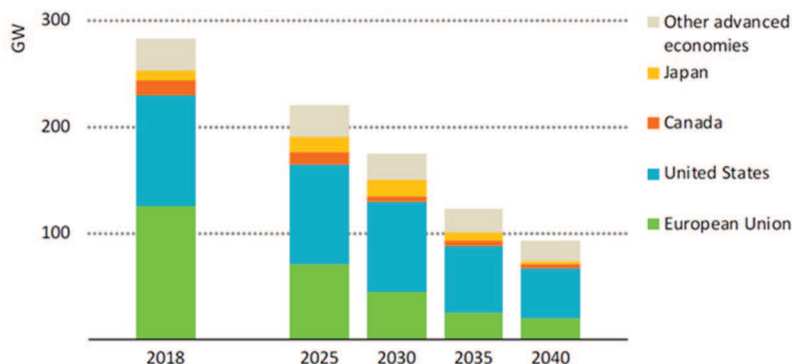


4. ábra: A fejlett és fejlődő gazdaságok trendje a zéró karbon kibocsátás felé a villamosenergia-termelésben [5].

Ahhoz, hogy 2050-re a villamosenergia-termelés karbon intenzitása 23g CO₂/kWh értékre csökkenjen a 2018-as 475 g CO₂/kWh értékről a következő energiaátmenet megvalósulását kellene elérni. A Föld teljes lakossága rendelkezni fog a villamosenergia-felhasználás lehetőségével. Ennek kiegészítéseként a közlekedés-szállítás, más ágazatokkal együtt villamos energiafelhasználásra fog áttérni a jelenlegi egyéb más energiaforrásokról. A globális energiafelhasználáson belül a 2018-ban rögzített 19%-os villamosenergia-részarány

2050-re közel meg kell, hogy kétszereződjön. Ezzel a növekedéssel a villamosenergia-fogyasztás a 2018-ban felhasznált mennyiségéhez képest, 2050-re 70%-kal lesz magasabb, amely több mint 45 000 TWh értéket fog jelenteni. A villamosenergia-termelés forrászerkezete teljesen át fog rendeződni az alacsony emissziót biztosító energia mix irányába. A karbonmentes források 2018. évi 36%-os aránya a 2030-ra prognosztizált 60% körüli értéken keresztül el kell, hogy érje a 94%-os részesedést. [5]

A villamosenergia-igény ellátásához biztosítani kell a termelő kapacitásokat. Ehhez a meglévő kapacitások fenntartása és a növekedési trend követése szükséges az előállító oldalon. Az atomenergia felhasználása kiemelt jelentőségű az energiaátmenetben, ezért fontos áttekintenünk a helyzetét. A fejlett országok karbonmentes termelői közül jelenleg a legnagyobb volument képviseli, amely 18%-os részesedést jelent a teljes előállított villamosenergia-mennyiséghez képest ezen országokat együtt véve. 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. A szabályozott láncreakció hasadási energiájának átalakítása alaperőművekben történik, ezért az ellátásbiztonság szempontjából is meghatározó a szerepük. Alaperőműként az állandó fogyasztói tartomány folyamatos megtermelése mellett a turbógenerátorok nyomatéka is hozzájárul a hálózat stabilitásához. A fejlett gazdaságok döntéshozatali bizonytalansága következtében nehéz helyzetbe került az ágazat. Az üzemelő atomerőművek átlagéletkora 35 év. Az üzemidő hosszabbításoknak köszönhetően még hosszú időre versenyképes tiszta energiaforrásként lehet rájuk számítani. A gazdaságosságukra jellemző adat, hogy a retrofiton átesett létesítmények előre becsülhetően 40÷60 USD/MWh közötti fajlagos áron tudnak majd nagy mennyiségben karbonmentes áramot termelni. Az üzemidő hosszabbításra más országokhoz hasonlóan hazánkban is jó példa az MVM Paksi Atomerőmű folyamatos korszerűsítése. A meghosszabbított üzemidővel termelő erőművek még a csökkenő költség trendet felmutató megújuló technológiákkal szemben is piacképes alternatívát kínálnak.



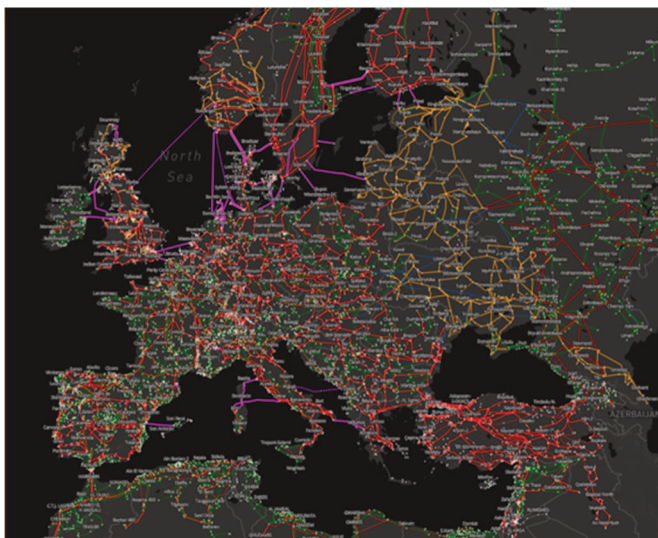
5. ábra: A jelenleg üzemelő atomenergia kapacitások jövője a fejlett gazdaságokban további beruházások nélkül. [5].

Amennyiben nem történnek 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 eléréséhez 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. [5]

Hazai energiafelhasználás és -termelés

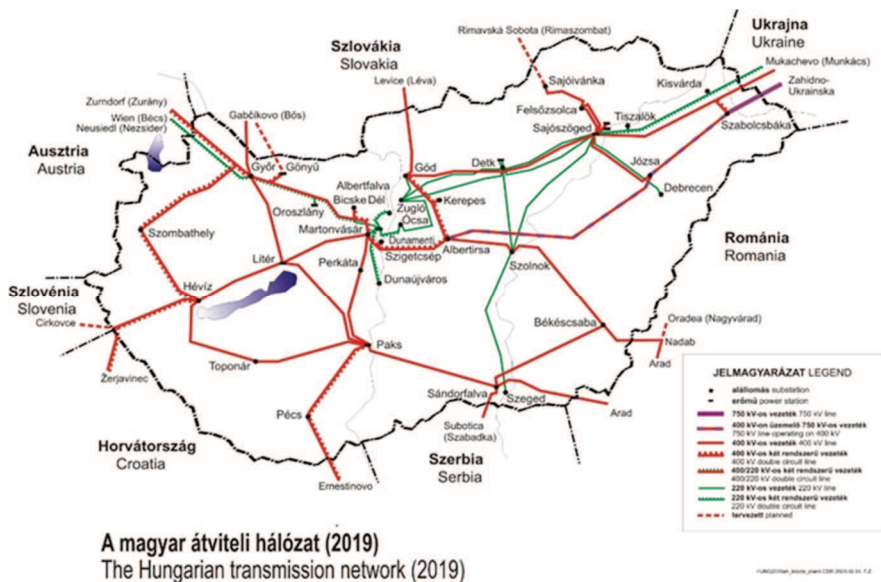
Magyarország az ENTSO-E tagja. ENTSO-E a European Network of Transmission System Operators for Electricity rövidítése, vagyis a villamosenergia-átviteli rendszerüzemeltetők európai hálózata. Az ENTSO-E koordinálja a 35 ország 42 villamosenergia-átviteli rendszerüzemeltetőjének (TSO: Transmission System Operators) határokon átnyúló rendszerüzemeltetését, rendszerfejlesztését és villamosenergia-piaci tevékenységeit. Az ENTSO-E felhatalmazást kapott az EU belső energiapiacra vonatkozó gáz- és villamosenergia-piac további liberalizálására. A tevékenysége magába foglalja az egész Európára kiterjedő tíz éves időszakra vonatkozó villamosenergia-hálózat fejlesztési tervek, az átláthatósági platformok, a hálózati kódexek, az iránymutatások és az egész Európára kiterjedő módszerek kidolgozását. Az ENTSO-E Brüsszelben található központja kielemezt figyelmet fordít az együtt járó rendszer műszaki, kereskedelmi és politikai kérdések összehangolt kezelésére, az Európai Bizottsággal, a szabályozó hatóságokkal, szakmai egyesületekkel és az érdekképviselők megteremtésére. Az ENTSO-E tagság együttműködésének eredménye az ellátásbiztonság fenntartása a világ legnagyobb és legversenyképesebb villamosenergia rendszerében, valamint az új kihívások eredményes megoldása, mint amilyen a megújuló bázisú erőművek rendszerintegrációja.



6. ábra: ENTSO-E átviteli rendszer térképe. [8]

ENTSO-E átviteli rendszer térképen a 220 kV-os és annál magasabb feszültség-szintű távvezeték nyomvonalak, valamint a 100 MW-nál nagyobb teljesítményű erőművek láthatóak.

Magyarország villamosenergia rendszerének (VER) termelői szektorát a MAVIR (Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt.) minden évben felülvizsgálja. Ennek egyik viszonyítási pontját az ENTSO-E által 2018. évben kiadott 10 éves hálózatfejlesztési terve képezi. Az évenkénti elemzések célja a hazai erőművek életkorának és műszaki jellemzőinek figyelembe vételével áttekintést adni a termelői oldal helyzetéről és az ezzel kapcsolatos eseményekről, amelyek az erőművek leállítását vagy éppen a beruházások alakulását is tartalmazzák.

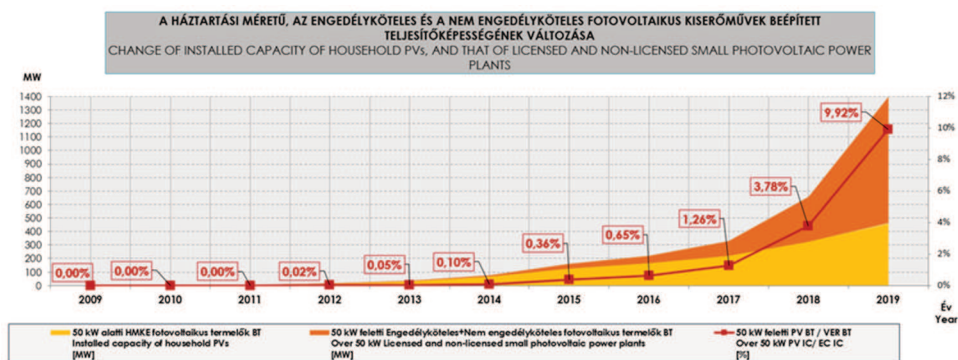


7. ábra: A magyar átviteli hálózat térképe. [9]

A Magyar Villamos Energia Rendszer (VER) felépítése funkcionális és feszültség-szint szerinti hierarchikus szintekre tagolódik. A villamos hálózat rendeltetése, hogy az erőművekben előállított villamos energiát összegyűjtse és eljuttassa a felhasználókig. Az erőművek rendeltetésük szerint lehetnek alaperőművek, menetrendtartó és csúcserőművek. Az MVM Paksi Atomerőmű 2000MW beépített és a nukleáris kapacitás fenntartására előkészített Paks II. Atomerőmű Zrt, 3+ generációs, AES 1200 típusú létesül 5. és 6. helyszámú blokkjai 2400 MW tervezett teljesítménnyel tipikus alaperőművi termelők. Alaperőmű a lignit tüzelésű Mátrai Erőmű is. A primer energiaforrások átalakítását szolgáló technológia szerint is különbséget tehetünk, nukleáris, fosszilis bázisú, megújuló alapú energiatermelő technológiák között. A villamos hálózat legmagasabb hierarchikus szintje az alaphálózat, amely 220 kV, 400 kV és 750 kV-ra szigetelt rendszerek együttese. Rendszerszintű feladata a nagy mennyiségű energiák gazdaságos szállítása. Ezekon a feszültség-szinteken történik a határkeresztesző kapacitások által biztosított nemzetközi kooperáció, valamint az alaperőművek és a jellemzően 100 MW feletti termelő létesítmények betáplálási pontjait biztosítja.

A VER 34 alaphálózati transzformátor állomásán keresztül jut el a villamosenergia legnagyobb hányada az elosztóhálózatba, amely 132 kV, 35 kV, 22 kV, 10 kV feszültségszinten látja el a nagy ipari üzemeket és a fogyasztói körzeteket. Erre a feszültségszintre csatlakozhatnak a 100 MW alatti beépített teljesítménnyel rendelkező ipari méretű erőművek. Az ipari üzemek belső hálózatai a 10 kV, 6 kV és 3 kV középfeszültségen üzemelnek. A lakossági fogyasztók részére kiefeszültségen, vagyis 0,4 kV-on juttatják el a villamos energiát a Hálózati Engedélyesek vagyis az áramszolgáltatók.

A napelemes erőművek terjedésének egyik jelentős iránya a kiserőmű és a háztartási méretekben történő létesítés. 2020. év első felében már a közel 1500 MWp teljes mennyiségből, összességében csaknem 500 MWp fotovoltaikus napelem kapacitás üzemelt lakossági tulajdonban. [10]

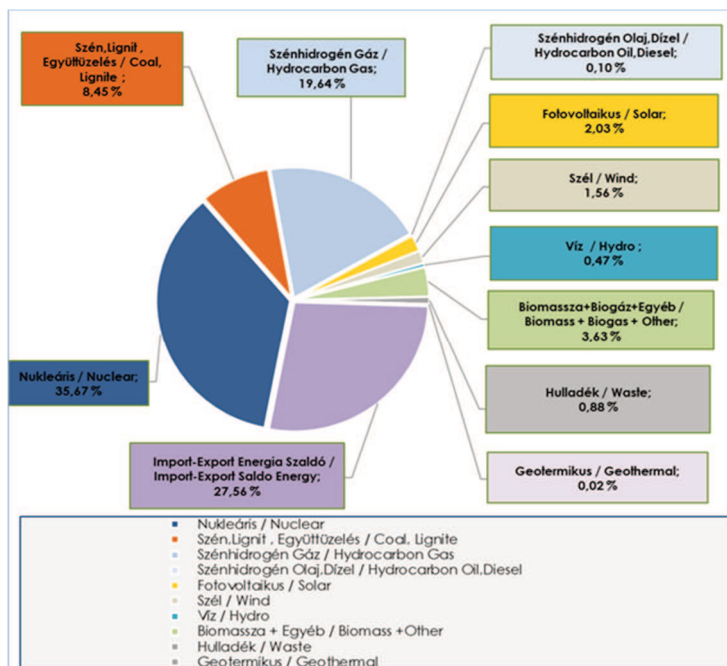


8. ábra: A hazai napelemes beépített teljesítmények változása 2009 és 2019 között. [10]

A korábban centralizáltan termelő forrásokhoz igazított hálózati struktúra, folyamatos és teljes átalakuláson megy keresztül. Korábban az energiaáramlás jól tervezhető módon a nagyerőművektől áramlott az ipari és a lakossági fogyasztók felé. Napjainkban a decentralizáltan termelő kis és háztartási erőművek előre nehezen prognosztizálható menetrend szerint már kis és középfeszültségről táplálnak a hálózatba, gyakran megfordítva ezzel az energia áramlások irányát. A decentralizált termelés jelentős hálózatfejlesztési igényeket vonz maga után, valamint teljesen újra kell tervezni és átalakítani a hálózati automatikák és villamos védelmek rendszerét.

A villamosenergia rendszer felépítése és működése minden körülmények között az ellátás biztonságát kell, hogy szolgálja. Az ellátás biztonság meghatározó eleme a hazai termelő kapacitások rendelkezésre állása. A termelési volumen és szerkezeti összetétel változásának nyomán követése teszi lehetővé a közép és hosszútávú forrásoldali tervezést. A jelenleg üzemelő erőművek egy részének kiüregedése a fejlett országok trendjébe illeszkedően hazánkat is érinti. A tervezés során meghatározó alapidokumentumnak kell tekinteni a hazai energiapolitikát megalapozó Energiastratégia 2030 kiadványt, a Magyar Energetikai és Közműszabályozási Hivatal által kiadott ajánlásokat a 12542/2019 sz. határozat szerint valamint az Európai Bizottság 2016-ban kiadott Tiszta energia minden európainak (Clean Energy for all Europeans Package), ajánlást és a villamos energiáról szóló rendeletet.

A magyar energiapolitika alapvetései az ellátás biztonság érdekében születtek. Ezek közé tartozik, hogy a teljesen nyílt és szabad versenyfeltételek között a vonatkozó rendeletek és előírások betartása mellett, bárki építhet erőművet. Az európai együtt járó villamosenergia rendszer részeként a villamosenergia piac vonatkozásában is cél az egységesülő európai rendszerbe történő integrálódás. Egy megbízhatóan üzemelő nagy rendszer részeként akkor járunk el kellő körültekintéssel az ellátásbiztonság szempontjából, ha képesek vagyunk megtermelni a saját szükségletünket és ezzel az együtt járó rendszer stabilitásához is hozzájárulunk. Természetesen az árampiacon is előnyösebb helyzetben üzemelünk, ha elegendő termelő kapacitás áll mögöttünk. A következő ábrán vizsgáljuk meg, hogyan alakult a hazai bruttó végső felhasználás forrás szerkezete a 2019. évi feldolgozott adatok alapján.



9. ábra: A teljes bruttó villamosenergia felhasználás megoszlása 2019-ben. [10]

2019. évben a teljes hazai villamosenergia fogyasztás 45,66 TWh volt, amely szerény növekedést jelent a 2018-ban felhasznált 45,42 TWh mennyiséghez képest. Ami lényeges változás, hogy a nukleáris termelés hányada valamivel növekedett a szén és lignit-tüzelés részesedése viszont csökkent az előző évi adatokhoz képest. Ez az MVM Paksi Atomerőmű esetén 16,29 TWh, a szén-lignit elégetése pedig 3,86 TWh termelt villamosenergia mennyiséget jelentett 2019-ben. A megújuló tartományban a napenergia területén csaknem 1,5%-os termelésbővülés tapasztalható, de ezzel együtt is csupán 2%-kal járult hozzá az éves igények kielégítéséhez. Az ellátás szerkezetében 30% alá csökkent az importból származó villamosenergia fogyasztás ezzel szemben növekedett a földgáz elégetéséből származó energia mennyiség. Az ellátás szempontjából megállapítható, hogy az MVM Paksi Atomerőmű termelési volumene a legnagyobb szerkezeti elem. Nélküle sem a klímavédelmi sem a rezsicsökkentési célok nem tudnának teljesülni. Alaperőműként a Mátrai

erőmű termelési mennyisége is jelentős mértékben hozzájárul a hazai részarány növeléséhez. A hazai termelés a teljes villamosenergiaigény 72,4%-át fedezte, amelyből 49,2%-kal az atomerőmű és 11,7%-kal a lignit-szén technológia vette ki a részét. A nukleáris kapacitás fenntartása és a Mátrai Erőmű kapacitás megújítása tehát elemi érdekünk a társadalmi jólét és a gazdasági teljesítőképesség biztosításához. A hazai földgáz felhasználás 20%-a származik saját forrásból, ezért a földgáz döntő részének beszerzése is a meglehetősen magas energia igényünk importfüggőségét erősíti. Energiatárolók hiányában az időjárásfüggő megújulóként termelő naperőművek változékonny termelésének korrigálásában is részt vesznek a gázturbinák. A naperőművek térnyerését a rugalmassági kapacitások létesítésével is le kell követni. Az elmúlt évek nem hoztak jelentős termelési szerkezet átalakulást. [10]

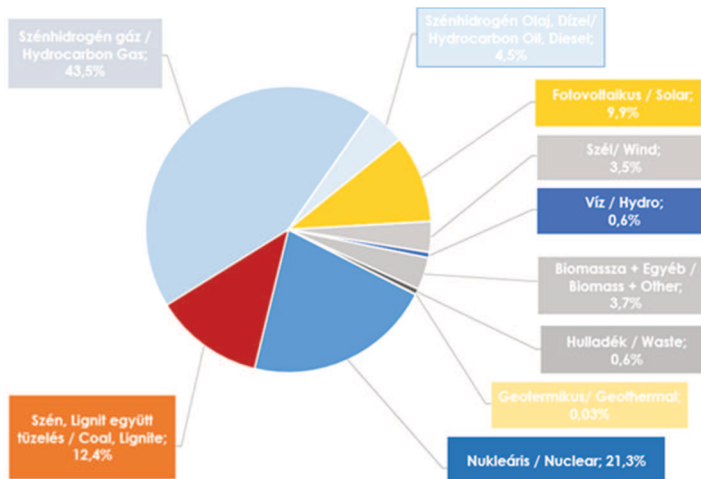
A hazai rendszer vizsgálatának folytatásához a 2019. december 31-én rendelkezésre álló beépített kapacitások jellemzőit tekintjük át.

Primer források	Beépített teljesítmény (MW)
Hagyományos erőművek összesen	
Nukleáris	2012,8
Szén, Lignit, Együtt tüzelés	1166,3
Szénhidrogén Gáz	4111,8
Szénhidrogén Olaj, Dízel	421,1
Összesen	7712,0
Megújuló erőművek összesen	
Fotovoltaikus	936,3
Szél	327,5
Víz	57,8
Biomassza + Egyéb	346,1
Hulladék	59,4
Geotermikus	2,7
Összesen	1729,8
VER összes beépített	9441,8

10. ábra: A Magyar Villamosenergia Rendszer beépített kapacitás értékei 2019-ben. [10]

A táblázatban szereplő fotovoltaikus részesedés a háztartási méretű egységeket nem tartalmazza. A hagyományos erőművek, amelyek jellemzően a nagyerőműveket jelentik és csaknem 82%-os arányt képviselnek a teljes erőművi flottában. A primer források szerinti technológiák beépített teljesítményei alapján a megoszlás arányait a következő ábra szemlélteti. Ha összevetjük a korábban részletezett megtermelt energiamennyiségek arányát a beépített teljesítmények részesedésével szembevetve az arányok eltolódása. Ennek magyarázata a különböző technológiák egymástól eltérő teljesítmény kihasználási tényezőjében

rejlük. Ez a tényező százalékos értékben azt mutatja meg, hogy egy erőmű éves termelését az év hány százalékában termelné meg akkor, ha a névleges teljesítményén az év 8760 órájában üzemelne.

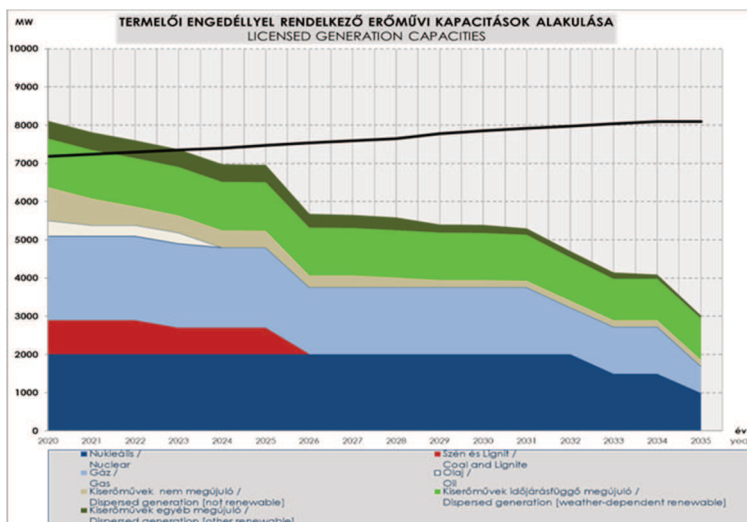


11. ábra: A Magyar Villamosenergia Rendszer beépített kapacitásainak arányai 2019-ben. [10]

Összehasonlításként 2019-ben a következő teljesítménykihasználási tényezők mellett termeltek az erőműveink: MVM Paksi atomerőmű 92,36%, Mátrai Erőmű 53,85%; szél-erőművek 24,75% és a fotovoltaikus naperőművek 16,01%. A felsorolásból illetve az összesítéstől élesen kitűnik, hogy az alaperőművek irányítható és szabályozható jellegéből adódóan az állandóan jelentkező fogyasztói igényt kielégítve jóval magasabb kihasználtsággal termelnek, mint az időjárástól függően energiát szolgáltató új megújuló bázisú termelő egységek. [10]

Érdekességképpen érdemes átgondolni azt, hogy a fosszilis primer energiaforrások elégetése nemcsak a szén-dioxid kibocsátása révén terheli a környezetét, hanem az égési folyamathoz felhasznált oxigén elvonásánál is. Az MVM Paksi Atomerőmű éves villamosenergia előállításához közel akkora mennyiségű oxigén elvonásától mentesíti a környezetet, mint amennyit a Magyarországon található összes erdő termel ugyanebben az időszakban. Ez nagyjából a teljes lakosság belélegzett oxigén mennyiségével azonos. [11]

Az ellátásbiztonság érdekében tisztában kell lenni azzal, hogy a meglévő, üzemelő erőművek közül a kiöregedés milyen mértékben fogja befolyásolni a termelési potenciált. A MAVIR prognózisa szerint a meglévő erőművek leállítása következtében 2029-ben 5326 MW, 2033-ra pedig 3908 MW összteljesítményű nagyerőműre számíthatunk összesen a jelenleg is üzemelők közül. A napjainkban üzemelő kiserőművekből mindössze 849 MW-ra számíthatunk 2033-ban. [9]



12. ábra: A VER-ben maradó források és a várható csúcsterhelés. [10]

A fenti ábrán a jelenleg meglévő erőművek beépített bruttó névleges teljesítménye látható a technológiák szerinti bontásban 2020. és 2035. közötti időszakban. Az ábra szemléletesen mutatja be, hogy termelőképeség csökkenése és a várható igények között meglehetősen gyorsan és nagymértékben növekszik a különbség. Tehát a hiányzó kapacitások pótlása elkerülhetetlen. A fogyasztói igények ellátásához szükséges hiányzó beépített teljesítmény biztosítására több alternatíva is kínálkozik. Valószínűleg az import szükségletünkkel a belátható időtávlaton belül még együtt kell élni. A külföldről érkező energiától való kitétségünket csökkenthetjük a meglévő eszközeink élettartam hosszabbító felújításával vagy új erőművek rendszerbe állításával. Az országos energetikai jövőkép megtervezéséhez nagyon sok és komplex tényező egyidejű elemzésének értékelését kell elvégezni mind hazai mind nemzetközi vonatkozásban. Az ellátásbiztonság folytonosságának koncepciója a társadalmi, gazdasági és globális fenntarthatósági szempontok figyelembevételével a szakpolitika feladata és felelőssége. A döntések meghozatalánál fontos szempontként kell figyelembe venni, hogy az energetikai beruházások viszonylag hosszú átfutási idővel valósíthatóak meg, ezért mindenképpen hosszútávú döntések szükségesek. A jövőbe mutató irányokat sokkal inkább kellő körültekintéssel, megalapozottan előkészített stratégiai döntésekkel, mint a pillanatnyi piaci hangulat alapján kell meghatározni. A jelenlegi piaci viszonyokat egyrészt a Németországban beépített több mint száz gigawatt időjárásfüggő valamint a főként Lengyelországban, Csehországban és Ukrajnában az élettartamuk végén járó szén bázison termelő erőművek alakítják. Ez hosszú távon nem fenntartható állapot, ezért a piaci árak emelkedése várható. [9] A másik fontos szempont, hogy a hazai felhalmozott erőműves szakmai tapasztalatot és tudást csak egy létező erőműpark esetén lehet fenntartani. A világon egyedüli lehetőségekkel rendelkező MVM Paksi Atomerőmű Karbantartó Gyakorló Központ új blokkok szempontjai szerinti bővítését érdemes lehet mérlegelnie a szakpolitikai döntéshozóknak. Piaci alapú nemzetközi képzések lebonyolítására is alkalmas lehetne. A hazai energiapolitika egyik meghatározó intézkedése volt a Nemzeti Energiastratégia 2030 megalkotása és további feladata ennek folyamatos felülvizsgálata és naprakészen tartása.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az emberiség fejlődésének meghatározó mozgatórugója az energia felhasználásának minősége, mennyisége és folyamatosan gyarapodó számú hozzáférési formája. Az energia felhasználás nyújtotta kényelem egyben az energiától való teljes függőséget is jelenti a civilizáció részére. Ez a kényelem egyben az energiától való teljes függőséget is jelenti a civilizáció részére. Manapság energia alapú társadalomban élünk, amelynek fejlődését a szintén energia alapú gazdaság biztosítja. Felhasználható energia hiányában mindkettő összeomlana. Megszűnne a fűtés, hűtés, szellőztetés, leállna minden termelés, használhatatlanná válnának a villamos energiát igénylő eszközök, megállna a közlekedés és minden technikai vívmány működésképtelenné válna. A villamos energia hiányában a rendvédelem és nemzetvédelem eszközei is összeomlana. A biztonságtechnikai tudomány csoportjai csak a villamosenergia rendelkezésre állása esetén értelmezhető, mint a biztonsági informatika, kibernetika, operációkutatás csakúgy, mint a védelmi technológiák teljes vertikuma. Az energia felhasználható formáiban történő rendelkezésre állása az emberi közösségek és az egyes emberek biztonságát is meghatározza. A biztonságot, mint állapotot a biztonságstudomány létező egészségnek nevezi. Ez az egészség fogalom az emberi test és a társadalom tökéletes állapotát fejezi ki. A biztonságstudomány az objektív valóságot kettős módon közelíti meg. Egyik vizsgálati irány a technológia hasznossága az egyéni és társadalmi fejlődés szempontjából. A másik megközelítési iránya ugyanennek a technológiának a negatív hatása az egyének egészségére és a környezet terhelésére. A jelenkori energiafelhasználás mértékének egyik negatív hatása a Föld készleteinek mérhetetlen kizsákmányolása és a globális felmelegedés felgyorsulása. Az ipari forradalom óta az emberi tevékenység hatására folyamatosan emelkedő mértékben egyre nagyobb mennyiségű a légtérbe juttatott üvegház-hatású gáz. Ennek következtében egyre vastagabb a felhalmozódott üvegház-hatású gázréteg vastagsága, így csökken a légtérből kijutó hőmennyiség is. A legnagyobb veszteségi hőmennyiség és egyben üvegház-hatású gáz kibocsátó szektorok az energia előállítás, a közlekedés-szállítás, az ipar és az épületek.

Az IPCC 2014-es adatai szerint üvegházhatást okozó gázok 76%-át a széndioxid teszi ki. [3] Az IEA (International Energy Agency) által 2018-ban kiadott World Energy Outlook alapján, 2017-ben a karbon emisszió közel 42%-át a villamosenergia előállítása, csaknem 25%-át a közlekedés-szállítás és 19%-át az ipari termelés okozta. [4] A 2013-as évben az üvegházhatást okozó gázok 72%-ának kibocsátásáért, a különböző gazdasági szektorokhoz köthető energia felhasználás tehető felelőssé. [12] A globális fejlődés akkor válhat fenntarthatóvá, ha a folyamatosan növekvő energia igényt drasztikusan csökkenő emisszió mellett tudjuk biztosítani, azaz meg tudjuk valósítani a tiszta energiák térnyerését az energiatermelési és felhasználási szerkezet összetételében. A dekarbonizáció egyik kézenfekvő megoldási iránya az elektrifikáció lehet, amely lehetőséget nyújt a digitalizáció kiterjesztésére a közlekedési és ipari szektoron belül. Ez a nagyon magas szintű automatizálást, vagyis az okos rendszerek alkalmazását jelenti. A dekarbonizációs célok csak abban az esetben teljesíthetők, ha a kiöregedő erőművi technológiák pótlását és az ezzel egyidőben jelentkező villamos energiaigény növekedés szükségletét karbon semleges források alkalmazásával lehet kielégíteni. A klímavédelem és az ellátásbiztonság teljesítése érdekében a villamosenergia termelésben meghatározó szerep jut a nukleáris bázisú technológiáknak.

A világon jelenleg 441 energetikai célú nukleáris reaktor üzemel összesen 390 113 MW nettó beépített villamos teljesítménnyel. A nukleáris kapacitás-fenntartás és bővítés érdekében 54 reaktor épül világszerte összesen 57 441 MW nettó tervezett villamos teljesítőképességgel. Az atomerőművek jelentőségét igazolja a 18 505 összes reaktor év, amely az eddigi szolgálatuk eredménye. [7] A legújabb 3+ generációs atomerőművi blokkok megnövelt biztonságú rendszerelemeit már a 2011-es fukushimai atomerőmű baleset tapasztalatait alapul véve alakították ki. A villamos energia rendszerek stabilitásához az alaperőművi funkciót kiegészítő manőverező képességükkel is nagyban hozzájárulnak.

A szakpolitikai előrejelzések szerint nap és a szél források termelése dominálni fog a villamos energiatermelésen belül 2050-re. Erre az időpontra már a teljes globális áramtermelés felét fogják adni. A vízenergia 17%-os részesedése mellett a nukleáris termelés 10%-os súllyal tartja meg nélkülözhetetlen szerepét az ellátásbiztonságban. Ahhoz, hogy 2050-re a villamosenergia termelés karbon intenzitása 23g CO₂/kWh értékre csökkenjen a 2018-as 475 g CO₂/kWh értékről a nukleáris energia felhasználása kiemelt jelentőségű. Amennyiben a fejlett gazdaságok nukleáris ágazatában nem történnek üzemidő hosszabbítások és nem indulnak új beruházások, abban az esetben a rendszerből hiányzó atomerőművek helyettesítését megújuló forrásokkal kellene megoldani. Ennek becsülhetően legalább 1,6 trillió USD többlet beruházási költség vonzata lenne a 2040-ig elemzett időszakban. [5]

FELHASZNÁLT FORRÁSOK

- [1] Cs. Kollár, Á. Zakar, „A social engineering és a manipulációs technikák és módszerek” *Biztonságtudományi Szemle*, 2. évf. 3. szám.
- [2] T. Kovács, I. Milák, Cs. Otti, „A biztonságstudomány biometriai aspektusai” <http://www.pecshor.hu/periodika/XIII/kovacsti.pdf>, letöltés: 2020. augusztus 28.
- [3] EPA United States Environmental Protection Agency (2020.): <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>
- [4] International Energy Agency, World Energy Outlook, 2018. (WEO, 2018)
- [5] International Energy Agency, World Energy Outlook, 2019. (WEO, 2019)
- [6] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.(2020): http://www.atomeromu.hu/hu/Documents/Korai_eredmenyek.pdf
- [7] International Atomic Energy Agency, Power Reactor Information System, (2020): <https://pris.iaea.org/pris/>
- [8] ENTSO-E (2020.): <https://www.entsoe.eu/>
- [9] MAVIR (2019) Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. adatpublikáció 2019.
- [10] MAVIR (2020) Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. adatpublikáció 2020.
- [11] MVM Paksi Atomerőmű Zrt. (2020.): <http://www.atomeromu.hu/hu/Latogatoknak/Lapok/default.aspx>
- [12] 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/>