

DIPLOMADOLGOZAT

Kovács Krisztina

2021

BUDAPESTI GAZDASÁGI EGYETEM
KÜLKERESKEDELMI KAR
NEMZETKÖZI TANULMÁNYOK MESTERSZAK
LEVELEZŐ MUNKAREND

ATOMENERGIA-PIAC FRANCIAORSZÁGBAN ÉS NÉMETORZÁGBAN
– ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉS

Készítette: Kovács Krisztina

Belső Konzulens: Dr. habil Sáringer János

Külső Konzulens: Szinger Csaba

Budapest, 2021.

SZERZŐI NYILATKOZAT EREDETISÉGRŐL

AlulírottKOVÁCS KRISZTINA..... büntetőjogi felelősségem tudatában nyilatkozom, hogy a szakdolgozatomban foglalt tények és adatok a valóságnak megfelelnek, és az abban leírtak a saját, önálló munkám eredményei.

A szakdolgozatban felhasznált adatokat a szerzői jogvédelem figyelembevételével alkalmaztam.

Ezen szakdolgozat semmilyen része nem került felhasználásra korábban oktatási intézmény más képzésén diplomaszerzés során.

Tudomásul veszem, hogy a szakdolgozatomat az intézmény plágiumellenőrzésnek veti alá.

Budapest, 2021. május 31.

Kovács Krisztina
.....

hallgató aláírása

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szakdolgozatom megírása közben sok akadályba ütköztem, amin nem segített a koronavírus helyzet sem. Éppen ezért:

Köszönettel tartozom konzulensemnek, dr. habil Sáringer János tanár úrnak, aki már az első órán rávezetett szakdolgozatom biztos témájára, a nukleáris energiabiztonság és -ellátás fontosságára.

Nem hagyhatom ki, hogy ne köszönjem meg Szinger Csaba szakmai oldalról történő támogatását sem, aki a hiteles és biztos háttéranyagok megszerzésében rengeteget segített.

Nem utolsó sorban családomnak szeretném megköszönni, hogy a legnehezebb időkben is mindig jobb kedvre derítettek, hittek bennem és figyelemmel kísérték eddigi munkásságom.

TARTALOMJEGYZÉK

I. BEVEZETŐ.....	6
II. A FRANCIA ÉS NÉMET ATOMENERGIA IPAR FEJLŐDÉSE 1986-IG.....	7
II.1. Rövid történelmi áttekintés a radioaktivitás felfedezéséről az első atombomba ledobásáig.....	7
II.2. II. világháborútól az első atomerőmű szerencsétlenségig.....	10
II.2.a. Reaktortípusok.....	12
II.2.b. Franciaország.....	17
II.2.c. Németország.....	19
III. A CSERNOBILI ATOMERŐMŰ-KATASZTRÓFA, A FUKUSIMÁBAN TÖRTÉNT ESEMÉNYEK ÉS HATÁSUK FRANCIAORSZÁGRA ÉS NÉMETORSZÁGRA.....	22
III.1. Franciaország.....	27
III.2. Németország.....	30
IV. AZ AKTUÁLIS ÉS A JÖVŐBEN VÁRHATÓ VILLAMOSENERGIA TERMELÉSI ÉS FOGYASZTÁSI PIAC ELEMZÉSE, PIACI FOLYAMATOK FELTÁRÁSA FRANCIAORSZÁGBAN ÉS NÉMETORSZÁGBAN.....	33
IV.1. Energiatermelés a világon.....	33
IV.2. Franciaország és Németország.....	39
V. SZÉN-DIOXIDMENTES VILLAMOSENERGIA-TERMELÉS FONTOSSÁGA ÉS LEHETŐSÉGEI.....	44
VI. ELLÁTÁSBIZTONSÁG KÖVETELMÉNYE ÉS AZ ÁLLAMI FELELŐSSÉG KÉRDÉSE.....	51
VII. VÉGKÖVETKEZTETÉS.....	57
VIII. MELLÉKLETEK – ÁBRÁK, TÁBLÁZATOK.....	59
IX. ÁBRAJEGYZÉK.....	65
X. TÁBLÁZATJEGYZÉK.....	67
XI. IRODALOMJEGYZÉK.....	68

I. BEVEZETŐ

A jövőbeni modern, sikeres és fenntartható fejlődéshez a megfizethető és olcsó áron termelhető villamosenergián keresztül vezet az út, hiszen a társadalom összes rétege folyamatosan használja otthonában, munkahelyén, városokban vagy utazás során. A világnépszerűség és a modern gazdaságok energiaigénye fokozatosan nő, amit továbbra is biztosítani kell. A Földön egy villamos áram nélküli jövő szinte már elképzelhetetlen.

Mindezt több fajta módon teremthetjük elő: tehetjük a természet által adta lehetőségek felhasználásával, megújuló „zöld” energiák formájában (gondolok itt a napkollektorra, szélturbinára, víz-, geotermikus erőműre vagy biomasszára), vagy fordulhatunk a sokkal nagyobb szakértelmet kívánó, sokak által veszélyesebbnek ítélt, bár a legtisztább és legtöbb villamos energiát nyújtó atomenergia felé, amelynek egyre nagyobb szerepet tulajdonítanak világszerte.

Az Európai Unióban jelenleg zajló viták a jövőbeni energiastratégiával kapcsolatban egyre nagyobb aggodalmat váltanak ki, hiszen Franciaország villamosenergiájának java részét továbbra is az atomerőművek biztosítják, míg Németország nem hajlandó letenni céljáról, mely szerint 2023-ra teljesen atomerőmű-mentes, döntően zöld energián alapuló áramot kíván szolgáltatni.

Kutatásom célja, hogy feltárjam Francia- és Németország atomenergia-piacának történelmi hátterét és annak alakulását napjainkig. Emellett elemzem, milyen energiastratégia szerint kívánnak fejlődni és ez által fejleszteni gazdaságukat, illetve, hogy mindez milyen következményeket vonhat maga után. Szakdolgozatomban az alábbi kérdésekre szeretnék még választ adni:

- Németország az Európai Unió egyik gazdaság-ipari-termelési motorja. Vajon atomerőműveinek fokozatos bezárásával, a zöld energiára támaszkodva továbbra is fejlődőképes lesz-e, és jövőbeni energiaszükségletét elő fogja-e tudni teremteni?
- Az angolok távozását követően kialakult kétpólusú Európai Unióban Franciaország ez által erősebb szerephez jut, és ha igen, ebből milyen módon profitálhat?
- A német-francia nemzetközi gazdasági kapcsolatok romlani fognak vagy új kapukat nyitnak egy egyedibb együttműködéshez?
- Az Európai Unió energiaellátása a megújuló energiaforrások termelése által biztosítva lesz, vagy akadályokba ütközik?

II. A FRANCIA ÉS NÉMET ATOMENERGIA IPAR FEJLŐDÉSE 1986-IG

II.1. Rövid történelmi áttekintés a radioaktivitás felfedezéséről az első atombomba ledobásáig

A 19. század végén került sor az emberiség ma már szinte legmeghatározóbb felfedezéseire, amit a fizika 4 aranyévének is szokás nevezni. 1895-ben a német fizikus, William Conrad Röntgen (1845-1923) katódsugárcsővel végzett kísérletei során felfedezett egy olyan jelenséget, amely szerint az X-sugárzás „nem látható fény, nagy, az anyag sűrűségétől függő áthatolóképességgel rendelkezik, és a filmlemen feketedést okoz”¹. Következő kísérletei alkalmával már felesége kezét világította át ezzel a sugárral, amelyet fényképezőfilmekre is tudott rögzíteni. Így született meg a később *Röntgensugárzásnak* is nevezett eljárás, amelyet 1896 óta napjainkig használunk békés célokra, egészségügyi vizsgálatok részeként. Mindehhez mi köze van a nukleáris energiához?

Ezen kutatásokra alapozva sok akkori kutató kételkedett a jelenség hitelességében, így saját maguk is próbálkoztak annak reprodukálásával. A francia fizikus, Antoine Henri Becquerel (1852-1908) megállapította, hogy a Röntgen által felfedezett sugárzás és a fluoreszkáló sók, mint az urán, fénye valamilyen módon összefügg. Végül arra a következtetésre jutott, hogy állítása helytelen, és az urán által kibocsátott sugárzás teljesen más háttér folyamatok miatt történik.

További kutatásait a francia Curie házaspárra, Marie (1867-1934) és Pierre-re (1859-1906) bízta, akik az uránium használatával folytatott kísérleteik során 1898-ban képesek voltak kivonni két addig ismeretlen elemet, melyek a polónium és a rádium, mely utóbbiból jött létre maga a *radioaktivitás* kifejezés is. Számukra a legnagyobb kérdés az volt, vajon honnan és hogyan keletkezik az anyagokból energia, és ha nem a nap által fluoreszkálnak, miért sugároznak maguktól?

1899-ben Becquerel a Curie házaspárral karöltve már ki tudta mutatni az *alfa és béta sugárzást*, és 1900-ban felismerte, hogy a béta sugarak részecskéi azonosak a katódsugarakban található elemekkel, amik az *elektronok*. Ebből arra következtetett, hogy az Urán atom saját elektronokat is hordoz a belső szerkezetében². Mindennek eredményeképp 1903-ban Becquerel a Curie házaspárral megosztva megkapta a fizikai Nobel-díjat. Napjainkig a becquerel (Bq) mértékegységet használjuk a radioaktív sugárforrás aktivitásának mérésekor. Mindeközben 1900-ban az angol Ernest Rutherford (1871-1937) és a francia Paul

¹ http://www.atomeromu.hu/hu/Rolunk/Technika/Atomtortenelem/Documents/Termeszetes_reaktorok.pdf

² <https://cultura.hu/kultura/henri-becquerel-a-radioaktivitas-felfedezoje/>

Villard (1860-1934) felfedezték a *gamma sugárzást*, amelyet az alfával és a bétával ellentétben egy 10 cm vastag ólom sem képes elnyelni és hasonlít a Röntgen által felfedezett sugárzáshoz. Csak később bizonyították be, hogy valójában a gamma sugárzás egy a fényhez hasonló elektromágneses, óriási energiájú radioaktív sugárzás, amely nagy mennyiségben káros lehet az emberre³.

A 20. századba lépve kutatások zöme zajlott az újonnan felfedezett sugárfajtákkal kapcsolatban: egy atommag gerjesztett állapota megváltozik-e vagy sem⁴, az elektron részecske vagy hullám, illetve hogy mennyi ideig használható egy radioaktív anyag energiája (*bomlástörvény*). Bár kezdetlegesen francia fizikusok foglalkoztak a radioaktív folyamatok további feltárásával, egyre több, nemzetközileg is elismert tudóst érdekelte a különböző sugárzások megismerése és használata. Az angol fizikus, Lord Patrick Blackett (1897-1974) az 1923-ban kezdődő ködkamrás kísérletei során talált rá az atommag további fontos alkotóelemére, a protonra, amiért 1948-ban fizikai Nobel díjjal tüntették ki. Minderre alapozva pedig egy másik angol fizikus, Sir James Chadwick (1891-1974) képes volt arra, hogy egy másik alkotóelemet, a neutront felfedezhesse, és annak tömegét is megállapítsa, amelyért őt szintén fizikai Nobel díjban részesítették 1935-ben. Mivel az I. világháború idején a radioaktivitással kapcsolatos kutatások kezdetleges stádiumban voltak, és inkább békés kereteken belül zajlottak, nem került sor radioaktív anyagot tartalmazó fegyverek használatára, mindez viszont a II. világháborúban megváltozott.

1938-ban két német vegyész, Otto Hahn (1879-1968) és Fritz Strassmann (1902-1980) kutatásai arra vezettek rá, ha egy neutronnal elkezdnek „bombázni” egy urán atomot, az akkor két darabra bomlik, és a folyamat alatt óriási energia szabadul fel. A jelenséget *nukleáris fisszió*nak nevezték el, amelyet a következő évben Frédéric Joliot-Curie (1900-1958) kísérletei során tovább elemzett, és megfigyelte, hogy a két újonnan keletkezett urán atomból még 2-3 neutron is felszabadul, ezzel elindítva egy atom láncreakciós bomlási folyamatát. Mindeközben kirobban a II. világháború, amely során a német tudósok továbbra is az urán tulajdonságait elemezték, és próbálták katonai célokra felhasználni, ami végül nem sikerült. A háború idején Franciaországban a kutatások folytatására nem is volt lehetőség, hiszen mint jól tudjuk, Németország teljesen elfoglalta. A német haderők ereje és terjeszkedési sebessége egyre nagyobb aggodalmat váltott ki a szomszédos európai államokban, nem is beszélve a német zsidó lakosságban, akik mihamarabb megpróbálták elhagyni az akkori Németországot.

³ http://www.vmgfizika.fw.hu/segedanyagok/Radioaktivitas_FA_PM.pdf

⁴ <http://atomfizika.elte.hu/akos/orak/mrf/2018/mrf1-2018.pdf>

Közéjük tartozott a német Albert Einstein (1879-1955), aki politikai nézetei miatt lemondott német állampolgárságáról és már 1933-ban az Amerikai Egyesült Államokba (továbbiakban: USA) emigrált. 1939-től nagy szerepe volt neki abban, hogy az akkori amerikai elnököt, Franklin D. Rooseveltet (1882-1945) meggyőzze egy hadi célra használható atombomba létrehozásában⁵. Így jött létre a Manhattan terv, melyben számos USA-ba emigrált kutató vett részt, mint pl. az olasz fizikus, Enrico Fermi (1901-1954), akinek 1942-ben elsőként sikerült egy nukleáris láncreakciót kontrollálni⁶.

Az atombomba létrehozása viszont egyre nagyobb kihívásokat állított az USA-ban kutató fizikusok elé. Az U_{238} , a természetben leginkább fellelhető uránizotópot szilárdabb halmazállapota miatt nehezebb bomlasztani, mint „testvérét”, a porosabb és puhább állagú U_{235} izotópot⁷. Csak ez utóbbi anyag képes egy nukleáris fissionra, viszont nagyon ritkán fordul elő a természetben, és gyorsabban fogy a felezési ideje miatt (700 millió év, míg az U_{238} 4.5 milliárd év)⁸. A kutatók arra jutottak, hogy az U_{235} izotóp nagyobb arányának érdekében az U_{238} izotópjából kell kinyerni, amit az ún. *dúsítási* folyamat során tudnak elérni. Több évnyi kísérletezés után, 1945-ben került sor a Manhattan projekt realizálására, amikor Németország már megadta magát, viszont szövetségese, Japán még nem volt erre hajlandó. Válaszul az USA Hiroshimára egy plutónium és Nagasakira egy urán atombombát dobott le, melyek visszhangja és hatása a mai napig megrázó: több mint 200 000 áldozatot követelt a két bomba felrobbantása összesen, nem is beszélve az azok által felszabadult pusztító energiáról.

Diploma dolgozatomban a továbbiakban nagyobb hangsúlyt fektetek a békés célra használt atomenergiára. Az atomerőművek reaktoraiban található uránkazetták csak max. 5%-ig vannak dúsítva, mert az UN (magyarul Egyesült Nemzetek Szervezete, mint ENSZ, angolul *United Nations*) erre szakosodott szervezete, az IAEA (magyarul Nemzetközi Atomenergia Ügynökség, angolul *International Atomic Energy Agency*) a békés célú felhasználás korlátját ebben az értékben határozta meg. Az U_{235} izotóp 5-20 %-os tartományban történő dúsítása rendkívül idő- és energiaigényes folyamat. A 20% fölé dúsított U_{235} izotópból viszont gyorsan lehet atombombát gyártani, így az energiáját már hadi célokra is lehet használni. A mai napig ezért nagyon ellenőrzik az urándúsító üzemmel rendelkező államokat, hiszen mindenki szeretné elkerülni egy potenciális atomháború kirobbanását, ami által akár az egész emberiség kihalhat. Éppen ezért Japán lebombázása után fontosabb, hogy az atomfegyverek elterjedése

⁵ <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1921/einstein/biographical/>

⁶ <https://interestingengineering.com/enrico-fermi-the-man-who-gave-the-world-nuclear-fission>

⁷ [https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_61_atomenergetikai_alapismeretek/ch02.html)

[0017_61_atomenergetikai_alapismeretek/ch02.html](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_61_atomenergetikai_alapismeretek/ch02.html)

⁸ http://www.atomeromu.hu/hu/Rolunk/Technika/Atomtortenelem/Documents/Termeszetes_reaktorok.pdf

és használata ne következzen be. Jól tudjuk viszont, hogy az évtizedeken át tartó *Hidegháború* során a kapitalista és a szocialista nagyhatalmak, az USA és az akkori Szovjetunió, hamar az egymás elleni, atomrakéta fegyverkezési módba kapcsoltak, és hadi arzenáljuk miatt (nukleáris fegyverzettel felszerelt repülőgépek, hadihajók és tengeralattjárók) sokáig aggodalomra adtak okot az egész emberiség számára a III. világháború kirobbanásának kockázatával.

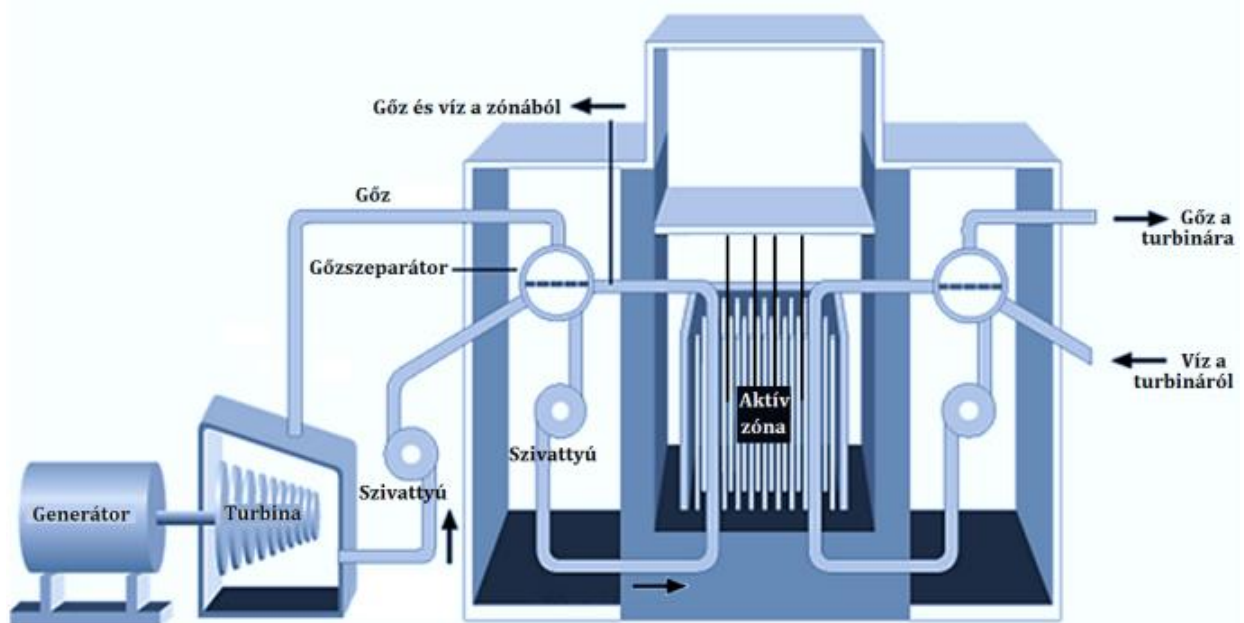
II.2. II. világháborútól az első atomerőmű szerencsétlenségig

A II. világháborút követően az 1945-ben lezajlott jaltai béketárgyalások során a békés Európa jövőjét a győztes „*entente*” (továbbiakban: antant) hatalmak (USA, Egyesült Királyság, Franciaország és a Szovjetunió) azzal próbálták elsősorban szabályozni, hogy a náci Németországot és annak fővárosát, Berlint négy megszállási zónára osztották fel egymás között, illetve az ország teljes területét demilitarizálták, és háborús bűnöseit bíróság elé állították. Mindez azért fontos információ, mivel Németországnak így esélye sem volt az 1989-es újraegyesülése utánig egy egységes energiaellátás létrehozására, hiszen infrastruktúrájának felosztottsága miatt minden térség eltérően fejlődött. Az USA és a nyugat-európai államok célja az volt, hogy az általuk létrehozott Német Szövetségi Köztársaság (továbbiakban: NSZK) gazdaságát és iparát minél hamarabb be tudják indítani, amit több segélytervvel (mint a Marshall-csomagok) támogattak, vagyis a nyugat-német régiók fejlődése ezáltal továbbra is biztosítva volt. A Német Demokratikus Köztársaság (továbbiakban: NDK) kelet-német zóna viszont szovjet megszállás alá került, amely a nyugat-európai országok gazdaságpolitikájával szinte homlokegyenest az ellenkezőjét tette.

Bár a Hidegháború még javában zajlik az USA és a Szovjetunió között, ez nem jelenti azt, hogy az energiaellátásban ne történtek volna előrelépések, sőt: egyre több állam további kutatásokba kezdett, és szorgalmazta egy atomenergián alapuló villamoshálózat kiépítését, ami egy államok közti versenyt váltott ki abban, hogy kinek sikerül a legjobb háttértudással és technológiával először létrehozni egy működő atomerőművet.

Mindez a Szovjetunióban valósult meg az obnyinszki atomerőmű villamoshálózatra kapcsolásával 1954-ben, amely bruttó áramkapacitása alacsony, 6 MW, de 2002-ig működött. Az 1970-es évekig tartó *első generációs* reaktorok időszaka ezzel el is kezdődött, amelyben általában kezdetleges technológiával, nagyrészt kísérleti szándékkal, természetes uránt

használva működtették a reaktorokat⁹. *Moderátor* anyagként (nevezhetjük *lassítónak* is, amely a láncreakció során keletkezett, túl gyors neutronokat lassítja le ahhoz, hogy *termikus* láncreakciót tudjunk generálni) a könnyűvizet (H₂O), a nehézvizet (D₂O, vagyis *deutériumoxidot*) vagy grafitot (C) használtak. Az obnyinszki erőművet például grafit moderátorral és víz hűtésű rendszerrel építették¹⁰, amelyet a szovjet tervezésű *RBMK* (magyarul csatorna típusú, nagy energiakimenetű reaktor, oroszul *Реактор Большой Мощности Канальный*) forralóvízes reaktortípus előfutárának tartanak¹¹. Az RBMK reaktorok csak a Szovjetunió területén (Oroszországban, Ukrajnában és Litvániában) működtek, pl. Csernobil is ilyen reaktorokkal rendelkezett¹².



1. ábra: Az RBMK-típusú reaktor felépítése¹³

1956-ban az angol Sellafield-ben II. Erzsébet királynő felavatta a Calder Hall reaktort, amely 50 MW-os termelésével az első kereskedelmi célú atomerőmű volt, amely nyitása után egy évre, 1957-ben a világ egyik legsúlyosabb balesetét produkálta¹⁴, mivel az egyik reaktorban a belső hőemelkedés miatt a hőmérséklet szabályozása során a kimeneti kéményen tűz keletkezett (Windscale tüzek). Mindeközben ugyanebben az évben Rómában, 1957-ben sor került az Európai Atomenergia-közösség (a továbbiakban: Euratom) és az Európai Gazdasági

⁹ Radnóti Katalin, Király Márton: *Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük*, Nukleon, 2015. - https://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/8_1_177_Radnoti_0.pdf

¹⁰ http://atomfizika.elte.hu/magreszfiz/hanusovszkylivia_atomreaktorok.pdf

¹¹ <https://energiaklub.hu/files/brochure/reaktorta.pdf>

¹² Radnóti Katalin, Király Márton: *Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük*, Nukleon, 2015.

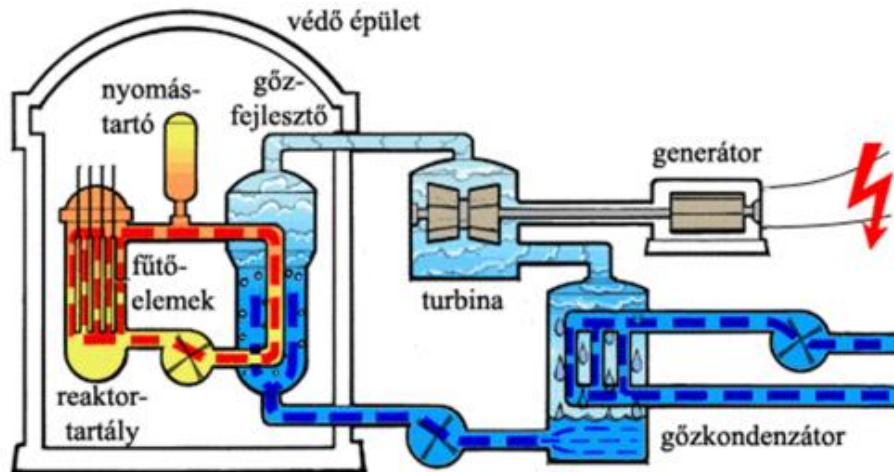
¹³ Radnóti Katalin, Király Márton: *Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük*, Nukleon, 2015.

¹⁴ http://atomfizika.elte.hu/magreszfiz/hanusovszkylivia_atomreaktorok.pdf

Közösség (továbbiakban: EGK, tagjai Franciaország, NSZK, Olaszország, Belgium, Hollandia és Luxemburg) létrehozására. Az Euratom kitűzött céljai közt szerepel, hogy a nukleáris energiával kapcsolatos kutatásokat elősegítse, biztonsági előírásokat állapítson meg az iparágban dolgozók és a lakosság védelme érdekében, illetve hogy a radioaktív anyagok katonai célú felhasználására ne kerüljön sor. Mindezen célok 1958-ban hatályba is léptek¹⁵. Szintén 1957-ben alapították az IAEA-t, melyet az akkori amerikai elnök, Dwight D. Eisenhower (1890-1969) 1953-as „*Atoms for Peace*” című beszéde ihletett. Az UN alatt létrehozott ügynökség célja, hogy a világ számára biztonságos és békés nukleáris technológiát kínáljon, illetve szorgalmazza a békés keretek között felhasznált nukleáris kutatásokat¹⁶.

II.2.a. Reaktortípusok

A világ első békés célú, *első generációs, nyomottvizes* reaktorát (továbbiakban *PWR*, mint *Pressurized Water Reactor*, oroszul ugyanez a *VVER*, mint *вода-водяной энергетический реактор*, röviden *ВВЭР*) az amerikai Shippingport városában építették 1957-ben. Az ilyen típusú reaktorban könnyűvizet használnak moderátorként és hűtőközegként is, amely egy magasnyomású primerkörben 130-150 bar között áramlik¹⁷. A shippingporti reaktor 60MW-os teljesítményen kezdte működését¹⁸.



2. ábra: A nyomottvizes atomerőmű szerkezete¹⁹

¹⁵ <https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/hu/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/euratom-treaty>

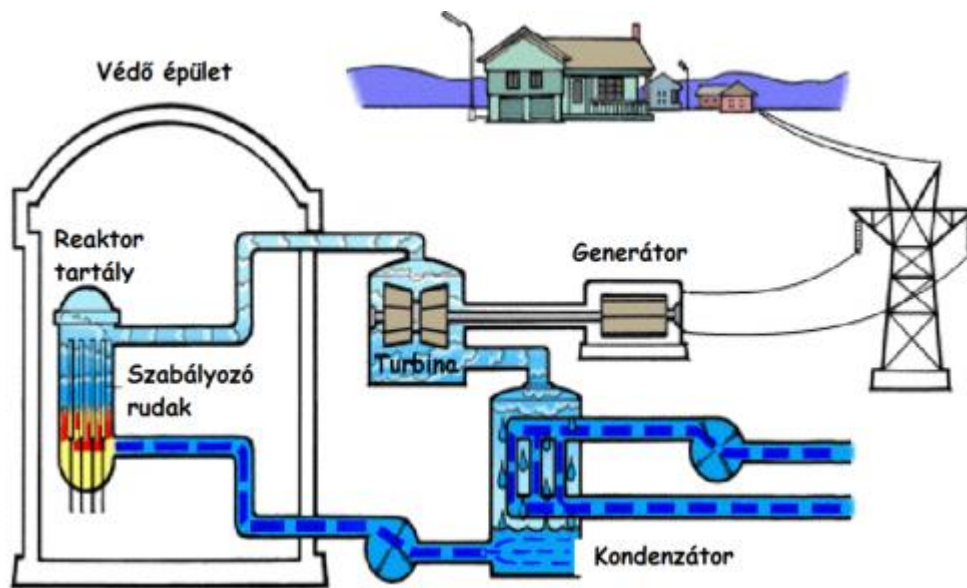
¹⁶ <https://www.iaea.org/about/overview/history>

¹⁷ <https://energiaklub.hu/files/brochure/reaktorta.pdf>

¹⁸ http://atomfizika.elte.hu/magreszfiz/hanusovszkylivia_atomreaktorok.pdf

¹⁹ Radnóti Katalin, Király Márton: *Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük*, Nukleon, 2015.

Az 1970-es évektől beszélhetünk a *második generációs* reaktorokról, amelyek nagy része a mai napig üzemelnek, és többségüket nyomottvízes reaktorként tervezték meg. A 2000-es évektől kezdődően viszont szigorúbb biztonsági elveket alkalmaztak üzembe helyezésük és karbantartásuk során, mivel mindegyiket egy olyan nyomásálló épületbe („*konténmentbe*”) helyezték el, amely egy baleset esetén képes megakadályozni a radioaktív anyagok természetbe jutását²⁰. Mivel egyre több ilyen típusú reaktor üzemidő-tartama átlépte a 30-40 évet, egyre szigorúbb feltételek teljesítése mellett engedik meg azok működtetésének hosszabbítását (ami jelenleg max. 60 évre nyúlhat), hiszen több biztonságnövelő átalakítás szükséges további üzemeltetésükhöz. Francia- és Németország is ezekben az erőművekben bővelkedik leginkább²¹, viszont Németország BWR típusú (angolul *Boiling Water Reactor*), forralóvízes reaktorokkal is rendelkezik, pl. a még ma is működő Gundremmingen-C vagy Neckarwestheim-2. Ez utóbbiak hátránya, hogy az egykörös rendszer miatt a radioaktív víz a hűtőközegben és a turbinában is megfordul, ezzel radioaktív anyag kerül a turbinára is, és az enyhén radioaktívvá válik.



3. ábra: A forralóvízes atomerőmű szerkezete²²

Mindemellett Németországban épült a világon eddig az egyetlen tóriumalapú, grafitmoderátoros kutatóerőmű THTR reaktorokkal (angolul *Thorium High Temperature Reactor*). 1985-1989 között 300 MW kapacitású Hamm-Üntropban²³.

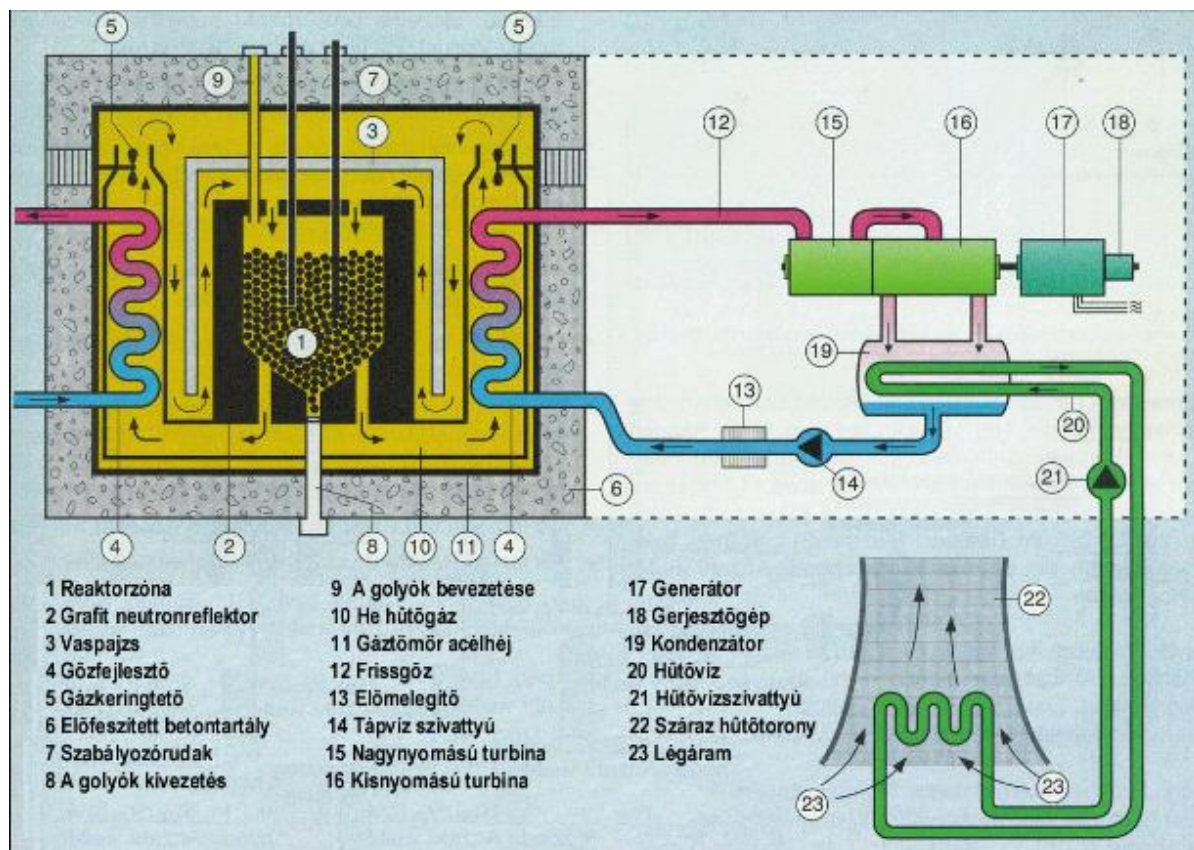
²⁰ Radnóti Katalin, Király Márton: *Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük*, Nukleon, 2015.

²¹ 1. és 2. táblázatok mellékletben, az 60-63. oldalakon található.

²² Radnóti Katalin, Király Márton: *Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük*, Nukleon, 2015.

²³ http://atomfizika.elte.hu/magreszfiz/hanusovszkylivia_atomreaktorok.pdf

A THTR reaktoros erőmű a GCR²⁴ (gázhűtésű reaktor, angolul *Gas Cooled Reactor*) családjába tartozik, azon belül pedig a PBMR („kavics ágyas, golyós moduláris” reaktor, angolul *Pebble Bed Modular Reactor*) alkategóriába soroljuk²⁵. A GCR reaktorok moderátora a grafit, hűtőközege pedig egy gáz (többnyire CO₂, jelenleg sok helyen héliumot használnak). Röviden ki szeretnék térni a tóriumra:



4. ábra: Magas hőmérsékletű tóriumos reaktor (THTR)²⁶

A tórium egy olyan radioaktív „csoda-üzemanyag”, amit 1829-ben Norvégiában fedeztek fel és leginkább India és Ausztrália földkérgében fellelhető. Az uránnál 3-5-ször gyakrabban fordul elő, melynek Th₂₃₂ izotópjá 14 milliárd évnyi felezési idővel bomlik. Lényegesen túllépve az urán felezési idejét, nem meglepő, hogy a jövő atomerőművek potenciális alapanyagaként tartják számon, illetve hogy bomlása során uránná is képes alakulni: Egy 6 cm átmérőjű tórium-golyó egy ember biztos energiaellátására alkalmas 80 éven (!) keresztül, és ha 1 kg-ot használnánk fel belőle egy nyomottvízes reaktorban, azzal 200 kg urán energiáját tudnánk helyettesíteni. Nem mellesleg 3.5 millió kg szén gyárakban

²⁴ 5. ábra mellékletben, az 59. oldalon található.

²⁵ http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_6_3_143_Cserhati.pdf

²⁶ <https://docplayer.hu/116026890-Atomeromuvek-felepítése-tervezése.html>

történi eltüzelését is le tudnánk váltani²⁷! Legelőször az amerikai tudós, a „tórium atyjaként” is emlegetett Alvin Martin Weinberg (1916-2006) kezdett el foglalkozni a radioaktív anyaggal, és kutatásai segítségével 1965-1969 között képes volt a gyakorlatban is egy tórium alapú atomerőmű-prototípus működőképes előállítására. Az 1989-1990-ben újraegyesült Németországgal, az országot elhagyó amerikaiak nagy valószínűséggel bizalomhiány miatt nem kívánták megosztani a THTR reaktorok technológiáját, ezért zárhatták be, viszont működése alatt semmilyen súlyosabb probléma nem lépett fel. Jelenleg India épít egy 500 MW teljesítményű tórium cikluson alapuló erőművet, de az üzembehelyezése 2019 óta várta magára. Kérdés, vajon a jövőben újra felhasználásra kerül-e ez az érdekes anyag vagy továbbra is az urán marad a jövő radioaktív nyersanyaga?

Röviden szeretném csak megemlíteni, hogy a *harmadik generációs* erőművek alatt a 2021-től kereskedelmi forgalomba került, jelenlegi és az elkövetkező évtizedekben épülő atomerőműveket értjük. „*Tökéletesebbek a második generáció erőműveinél, mind a gazdaságosság (üzemanyag hasznosítás és átalakítási hatások), mind a biztonság (fejlett biztonságtechnika, passzív biztonsági rendszerek) tekintetében*”²⁸. Elődeiktől viszont működésüket, felépítésüket és üzemanyag-ciklusukat tekintve nem sokban különböznek, csak jóval szigorúbb tervezési és üzemeltetési irányelveket követnek, illetve az atomreaktorok fizikai mérete általában nagyobb. Már a 2000-es évek eleje óta tervezik *negyedik generációs* reaktorok építését, amely elképzelések szerint az eddigi legjobb nukleáris technológiával készülhet el, és sokkal környezetbarátabb lesz, mint elődei. Akár radioaktív szennyeződés (legyen az sugárzás vagy üzemanyag) kibocsátása nélkül üzemelhet²⁹! Beszélhetnénk még más reaktorok működéséről, mint az FBR (gyorsszaporító vagy -tenyésztő reaktor, angolul *Fast Breeder Reactor*), a HTGR (magas hőfokú gázreaktor, angolul *High-Temperature Gas Reactor*), a HWGCR (nehésvizes gázhűtésű reaktor, angolul *Heavy-Water Gas Cooled Reactor*) vagy a PHWR (nyomott nehésvizes reaktor, angolul *Pressurized Heavy-Water Reactor*, jelenleg a kanadai CANDU reaktor), a francia és német atomenergia-iparban ilyenek nem üzemelnek.

²⁷ Jean-Christophe de Mestral előadása: *L'énergie du thorium, l'avenir vert du nucléaire ?* (A tórium vajon a nukleáris energia zöld jövője?), 2013. november 28., Párizs, TEDxTalks.

²⁸ Radnóti Katalin, Király Márton: *Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük*, Nukleon, 2015.

²⁹ Radnóti Katalin, Király Márton: *Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük*, Nukleon, 2015.

A mai villamosenergia biztosításában maghasadás alapú láncreakció segítségével tudunk olyan energiát felszabadítani, amelynek segítségével villamos áramot tudunk szolgáltatni. Sokakban felmerülhet a kérdés, vajon csak ez az egyfajta módja egy atomból történő energia kinyerésére? A válasz nem: 1953-ban a Manhattan terv részeként és a magyar fizikus Teller Ede (1908-2003) közreműködésével megszületett az első termonukleáris hidrogénbomba, amely *fúziós láncreakció* elvén működik, és a csillagokban lezajló energiafolyamatokhoz hasonlítható. Mindez azt jelenti, hogy egy plutónium töltésű nukleáris maghasadás elindításával hidrogént, a már említett deutériumot és tríciumot magas nyomáson „fuzionálunk”. Az azáltal felszabaduló rendkívül magas hőmérséklet segítségével mindezt az újonnan keletkezett héliummal vegyítjük, amely összességében óriási energiát állít elő³⁰. Ennek eredményeképp a Hiroshimában ledobott bomba energiájának ezerszeresét lehet produkálni, éppen ezért a nukleáris fission mellett a fúzió is alapvető láncreakciós folyamatnak számít.

A különböző generációs reaktorok során bemutattam, hogy napjaink atomerőműveiben egyelőre csak maghasadás alapú láncreakcióval lehetséges kinyerni energiát. Viszont 2007-ben a fúziós energiakinyerés lehetőségére létrehozták a Nemzetközi Kísérleti Termonukleáris Reaktort (továbbiakban: ITER, mint *International Thermonuclear Experimental Reactor*). Telephelyének a dél-franciaországi Cadarache városát választották és jelenleg is építik 35 állam együttműködésével (köztük az Európai Unió - továbbiakban: EU -, az Egyesült Királyság, Oroszország, Kína, Japán, Korea és India) egy csaknem 10 milliárd eurós költségvetésből, melynek felét az EU állja. Ez az első olyan kutatás-fejlesztési, békés célokra felhasználható fúziós atomreaktor, amelyet a jövőben 500 MW termelésére terveztek³¹. Mindez azért lényeges, mivel kevesebb radioaktív forrásanyagot kíván, és ahogy már említettem a hidrogénbomba kapcsán, sokkal több energia termelhető. Így egy a már régóta fennálló energiaellátási problémát is orvosolni lehetne, elképzelések szerint viszont csak 2050 körülre várható egy ilyen atomerőmű elindulása. Kérdés azonban, vajon mennyire lesz ez a program még megbízhatóbb és sikeres, mint a már régebben többszörösen is ellenőrzött, mára már biztosabbnak és biztonságosabbnak tűnő, fission láncreakción alapuló atomerőművek? Mennyire hihetünk abban, hogy egy újabb Csernobilhoz vagy Fukusimához hasonló atomerőmű-tragédia nem fog már előfordulni?

Lássuk, hogyan alakult a világ történései közben a francia és német atomerőmű-flotta.

³⁰ <http://www.mikes.educv.ro/web/guest/hidrogenbomba>

³¹ <https://www.iter.org/proj/inafewlines#5>

II.2.b. Franciaország³²

Mivel Franciaország nem gazdag az olyan természeti ásványokban, amelyeket energetikai szempontból fel tudna használni (mint pl. a gáz, kőolaj vagy szén), energiapolitikájának mérvadó részévé vált az atomenergia és a II. világháború óta törekszik saját államának biztos energiaellátására. Éppen ezért már 1946-ban létrehozta saját állami közintézményét, az *Electricité de France*-ot (továbbiakban: EDF), amely a kezdetekben a francia lakosság, ma már több mint 30 állam számára szolgáltat villamos áramot. Feladata a villamosáram gyártása és működtetése, az ellátói hálózat kezelése, illetve az energiával történő kereskedés³³.

1945-ben nukleáris kutatások érdekében létrehozta a CEA központot (magyarul „Atom- és alternatív energia-bizottság”, franciául *Commissariat à l’Energie Atomique et aux énergies alternatives*), melynek működése 1952-ben kezdődött, és kutatásaival az emberi biztonságot és jólétet kívánja támogatni³⁴. Az első francia tervezésű reaktorok megépítésére 1956-1960 között került sor Marcoule-ban, amelyek természetes uránnal és grafit moderátorral üzemeltek. 1958-ban az akkori francia államelnök, Charles de Gaulle (1890-1970) Pierrelatte városában egy urándúsító építését kezdeményezte, melyet békés és katonai célokra kívánt használni. Továbbá 1958-ban alakul meg a FRAMATOME (magyarul „Francia-amerikai Atomépítő társulat”, franciául *Franco-Américaine de Constructions Atomiques*), melyre az amerikai nyomottvizes kutatási eredmények és technológiájának megszerzése érdekében volt szükség, mivel az USA-ban ekkor már javában zajlott számos nukleáris kísérlet. Legfontosabb feladatai közé tartozik, hogy ügyfeleinek innovatív, biztonságos és versenyképes nukleáris megoldásokat kínáljon, és azokat meg is valósítsa³⁵. 1959-ben a CEA gyorsneutronos reaktorok létrehozásának érdekében Cadarache-ban nyitott egy kutatóközpontot, amelyet 1963-ban avattak fel.

1961-ben megszületett az a rendelkezés, amely szerint a közhaszonnak sürgősen szüksége van egy, a kiegészített radioaktív üzemanyagok tárolására és feldolgozására épített üzemre, amelyet 1966-ban La Hague városában meg is nyitottak. A tárolóban a kezdetekkor kis- és közepes aktivitású hulladékot, napjainkban az újrahasznosított radioaktív üzemanyag

³² 1. táblázat mellékletben, a 60. oldalon található.

³³ <https://www.infinance.fr/articles/entreprise/societe-cotee-en-bourse/article-edf-presentation-et-histoire-397.htm>

³⁴ <https://www.cea.fr/Pages/surete-securite/priorite-securite-surete.aspx>

³⁵ <https://www.framatome.com/EN/businessnews-93/our-organization-evolves.html>

4%-át tárolják csak véglegesen³⁶. 1967-ben megépül a második francia urándúsító Pierrelatte-ban, ahol az uránizotópok gáz segítségével választották szét. 1996-ig használták katonai célokra, mivel Franciaország ekkor teljesen lemondott az ilyen céllal történő dúsításról, 2009 óta pedig az üzem teljes leépítése tart³⁷. 1969-ben az akkori francia államelnök, Georges Pompidou (1911-1974) hivatalosan bejelentette a grafit-gázon alapuló technológiáról való átállást a könnyűvízzel hűtött, nyomottvizes reaktorokra. Az első ilyen típusú reaktort az EDF az USA által biztosítva építette meg Fessenheimben. Mindezt nem sokkal ezután követte az első francia tervezésű nyomottvizes reaktortípus megépítése Choozban.

1973-ban Franciaország kezdeményezésére létrehozták az Eurodif projektet (angolul *European Gaseous Diffusion Uranium Enrichment Consortium*), melynek célja egy újabb urándúsító üzem építése Pierrelatte-ban a tricastini erőmű telephelyén. A Georges-Besse gyárként is ismert alapítószerződést Franciaország, Belgium, Olaszország, Spanyolország és Irán írták alá. Több állam nemtetszését nyilvánította ki, mikor kiderült, hogy Irán az urándúsító üzem építéséből bizonyos részesedést is kapott, illetve hogy a jövőbeli francia-iráni együttműködés alapjainak megszilárdítása érdekében Franciaország biztosítja az urán szállítását Iránba. Szintén 1973-ban robbant ki az első olajválság a világon, melynek áremelkedése egyre több államban vetette fel azt a kérdést, vajon meddig tartanak ki az olajkészletek, és meddig lehetséges továbbra is használni olajat üzemanyagként. Ettől kezdve Franciaországban bebizonyosodott, hogy a továbbiakban is a nukleáris energia használata a helyes út a biztos energiaellátás garantálásában. Az Eurodif projekt építkezései 1977-ben kezdődtek el, és az urándúsító gyár 1979-2012 között üzemelt³⁸. A katonai céllal épített urándúsítót szükséges volt egy békés, civil használatra szánt urándúsítóval pótolni, hiszen Franciaországnak továbbra is szüksége van a radioaktív üzemanyagra erőműveinek és hadiflottájának üzemeltetéséhez. 2006-ban ugyanazon a telephelyen, Georges-Besse II név alatt kezdték el építeni az új dúsítót, amely 2009-től kezdve fokozatosan terhelve lett üzembe helyezve³⁹.

1976-ban az akkori miniszterelnök, Jacques Chirac (1932-2019) a Creys-Malville erőműtelephelyre adta ki a Superphénix nevű gyorszaporító reaktor megépítését, mely német-olasz együttműködéssel jött létre és 1985-ben üzembe is helyezték. 1979-ben a

³⁶ <https://www.orano.group/fr/l-expertise-nucleaire/tour-des-implantations/recyclage-du-combustible-use/la-hague/expertise-unique->

³⁷ <https://www.francetnp.gouv.fr/Pierrelatte-l-usine-d?lang=fr>

³⁸ <https://www.vie-publique.fr/eclairage/271540-la-politique-du-nucleaire-civil-chronologie>

³⁹ Communication Areva Tricastin: *GEORGES BESSE II - Quand l'enrichissement entre dans une nouvelle ère*, 2007.

gyengén és közepesen radioaktív hulladékok feldolgozására a CEA létrehozta az ANDRA szervezetet (magyarul „Radioaktív Hulladékokat feldolgozó Nemzeti Ügynökség”, franciául *Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs*). Ugyanebben az évben következett be az „amerikai Csernobilként” is emlegetett Three Mile Island atomerőmű-baleset, amely során egy reaktor részlegesen megolvadt, és abból jelentős sugárzás szivárgott ki⁴⁰.

1980-ban Franciaország is elszenvedi első nukleáris üzemzavarát a Saint-Laurent-des-Eaux atomerőműben: az egyik reaktor üzemanyagtartály-cseréje után a hűtőszerkezetben fellépő hiba során 50 kg urán üzemanyag-mix magnéziummal lépett fúziós reakcióba, melyből kifolyólag radioaktív sugárzás és gázok szabadultak fel⁴¹. Bár a csernobili és fukusimai atomerőmű-balesethez ez az incidens nem hasonlítható, hiszen ott több tonnás üzemanyaggal zajlottak le hasonló folyamatok, mégis a franciák sokat tanultak ezzel kapcsolatban arról, mennyire fontos minél biztonságosabban kezelnie saját nukleáris reaktorait.

1984-től kezdve az EDF saját reaktor-technológiájával külföldön is épít atomerőműveket, mint pl. elsőként Kínában a Daya-Bay erőművet⁴².

1986-ig 49 reaktora üzemelt max. 47 425 MW-os kapacitással.

II.2.c. Németország⁴³

A II. világháború harcai után a kimerült és megszállási zónákra osztott, a Marshall segély valódi hatásának kifejlődéséig Németországnak esélye sem volt arra, hogy atomerőművi iparát kifejlessze. 1949-ben azonban a nyugat-német amerikai, angol és francia megszállási zónákból megalakult az NSZK, ezáltal Németország egy része visszanyerte szuverenitását. Ebből kifolyólag 1955-ben az akkori német kancellár, Konrad Adenauer (1876-1967) bejelentette, hogy Németország a békés célú atomenergia-felhasználást támogatja, amelynek létrehozására 1956-ban több kutatóközpontot is nyitottak. 1959-ben megalapítják a Német Atomforumot (németül: *Deutsche Atomforum*, 2019-től átalakulások miatt *Kerntechnik Deutschland*), ahol a német gazdasághoz, kutatáshoz és politikához köthető nukleáris jellegű problémákat meg lehet vitatni⁴⁴. 1960-ban lépett életbe az atomtörvény

⁴⁰ <https://cultura.hu/aktualis/a-three-mile-island-i-atombaleset/>

⁴¹ <https://theconversation.com/17-octobre-1969-saint-laurent-des-eaux-retour-sur-un-accident-nucleaire-francais-125322>

⁴² <https://www.infinance.fr/articles/entreprise/societe-cotee-en-bourse/article-edf-presentation-et-histoire-397.htm>

⁴³ 2. táblázat mellékletben, a 62. oldalon található.

⁴⁴ https://www.kernd.de/kernd/ueber-uns/datf/01_index.php

(németül *Atomgesetz*), amely meghatározza, hogy csakis békés célból, biztonságos keretek között, a környezetre nem káros és a nemzetközi előírásoknak megfelelően kívánnak atomerőműveket építeni, és nukleáris energiával villamos áramot szolgáltatni⁴⁵.

Az 1961-es év fontos a német atomenergia szempontjából, hiszen ekkorra került sor az első atomreaktor üzembe helyezésére Kahlban, amely az amerikai forralóvízes reaktortípus mintájára épült. Bár még csak kísérletek formájában, de a karlsruhe-i kutatócentrum kifejleszti az első német technológiájú reaktort, amely nehézvízes hűtőközeggel és természetes urán használatával működik.

1966-ban a jülichi kutatócsoport végrehajtotta az első német láncreakciót magas hőfokon. Mindeközben az akkori NDK-ban található Gransee-ben üzembe helyezik az első szovjet típusú nyomottvízes reaktort, melynek kapacitása 70 MW.

Az NSZK 1967-ben indította el a Konrad kutatóprogramot a radioaktív hulladékok tárolásának és feldolgozásának megoldására Asse-ban. Emellett Jülichben egy 15 MW-on üzemelő, német technológiával kifejlesztett, magas hőfokú reaktort helyeztek üzembe. Egy évvel később, 1968-ban az obrigheimi erőmű nyomottvízes reaktora termelt elsőként a német villamosenergia-hálózatba áramot. 1969-ben megalakult a KTG (magyarul „Nukleáris Technikai Társaság”, németül *Kerntechnische Gesellschaft*) amely tudósok, mérnökök, kutatók és technikusok együttesét hozza össze a békés célú atomenergia támogatására annak megteremtése és elemzése érdekében⁴⁶.

1971-ben megkezdődött a morslebeni ERAM (németül *Endlager für Radioaktive Abfälle Morsleben*) végső radioaktív hulladéktároló használata. 1972-ben a Stade-ban és Würgassenben található könnyűvízes reaktorok kereskedelmileg kapcsolódtak rá a villamosenergia hálózatra. Ugyanebben az évben indították a THTR, tórium alapú reaktor építését és a nehézvízes gázhűtésű Niederaichbach reaktort is üzembehelyezték 100 MW-os teljesítményen. Az első greifswaldi reaktort 1973-ban kapcsolták rá a villamoshálózatra, melynek telephelyén még további hét másik épült, melyből 2 sosem indult el, egy pedig csak két hónapig üzemelt. 1974-ben került sor az első 1200 MW-os működésű reaktor üzembehelyezésére Biblisben, melynek telephelyén a második reaktor 1976-ban kezdte meg termelését. Szintén ugyanebben az évben helyezték üzembe a neckarwestheimi és a brunsbütteli reaktorokat.

1975-ben létrejött a PWK projektársaság (németül *Projektgesellschaft Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH*), melynek tagja több német atomenergiában

⁴⁵ <http://www.gesetze-im-internet.de/atg/index.html>

⁴⁶ <https://www.ktg.org/ktg/faszination-kerntechnik/wer-wir-sind/>

munkálkodó társaság (pl. a karlsruhei újrafeldolgozó telephely vagy a gorlebeni üzemanyagtároló) és egyik nemzetközi tagja a francia CEA kutatócsoport is. Célként a már elhasznált urán üzemanyag tárolásának megoldását tűzték ki⁴⁷.

1976-ban helyezték üzembe a Biblis B, a Neckarwestheim I és a Brunsbüttel reaktorokat. Egy évvel később, a karlsruhe-i kutatócentrumnak sikerült az első német gyorszaporító reaktort működőképesen felépítenie, sikeresen üzembe is helyezte. Ugyanebben az évben kötötték rá az Isar 1 reaktort a német villamoshálózatra. 1977-ben a grohndei telephely területén anti-nukleáris tüntetés tört ki. 1979-ben a Philippsburg 1 reaktort rákapcsolták a villamoshálózatra.

Szintén 1979-ben a gorlebeni üzemanyagtárolót nemzetközileg is biztonságosnak ítélték, és a magas aktivitású radioaktív hulladékok tárolásának érdekében a végső tárhelyi kutatások a tárolóhely kiásásával 1981-ben elkezdődtek. Eközben az egyik legerőszakosabb anti-atom tömegtüntetés zajlott a brokdorfi telephely területén, amely a megelőző tüntetésekhez képest a legerőteljesebb tiltakozás volt az atomenergia használata ellen.

1982-ben az egyetlen német urándúsító alapkövet tették le Gronauban. Rá következő évben sor került az első tórium-hasadásra a THTR-300 kutatóreaktorban. Szintén 1983-ban került sor a Krümmel reaktor üzembehelyezésére. 1984-ben a gorlebeni üzemanyagtároló használata megkezdődik, viszont csak átmeneti tárolóként használják. A Gundremmingen B, C, a Grohnde és a Philippsburg 2 reaktorokat rákapcsolták a villamoshálózatra.

1985-ben megkezdődtek a wackersdorfi üzemanyag-újrafeldolgozó gyárának telephelyi építkezései, amelyet az 1986-ban történő csernobili baleset állított meg, mivel ennek következtében tömegdemonstrációk törtek ki a német lakosság körében. A projekt 1989-ben leállításra is került⁴⁸. Az akkori német kormány a csernobili katasztrófára válaszul megalapította saját természetvédelmi és reaktorbiztonsági minisztériumát (németül: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit*).

A német lakosság energiaigényét kisebb területi szolgáltatók biztosítják, mint pl. a legrégebbi RWE (magyarul „Észak Rajna-Vesztfália Villamosművek”, németül *Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk*), melyet 1898-ban alapítottak Essen város villamosenergia ellátására⁴⁹. Az energiaszolgáltatók nagy része ekkor még a lignit-, fekete- és barnaszén erőművek által termelt villamos árammal látta el a lakosságot, melynek környezeti következményeit láthatjuk.

⁴⁷ <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/phbl.19810371217>

⁴⁸ <https://www.bund-naturschutz.de/ueber-uns/erfolge-niederlagen/wiederaufarbeitungsanlage-wackersdorf-waa>

⁴⁹ <https://www.group.rwe/der-konzern/geschichte>

1986-ig 26 német reaktor üzemelt az NSZK és az NDK területén összesen, max. 22 407 MW-os kapacitással. Megállapíthatjuk, hogy az akkori francia nukleáris villamosenergia-ellátásának kevesebb, mint felét termelte meg az akkori német nukleáris ipar.

III.A CSERNOBILI ATOMERŐMŰ-KATASZTRÓFA, A FUKUSIMÁBAN TÖRTÉNT ESEMÉNYEK ÉS HATÁSUK FRANCIAORSZÁGRA ÉS NÉMETORSZÁGRA

A világ letragikusabb atomerőmű-katasztrófájáról élete során legalább egyszer mindenki hallott már: Csernobil (ukránul Csornobil, *Чорнобиль*; oroszul *Чернобыль*). A Pripjaty (oroszul *Припять*) városától 16 kilométerre található atomerőmű 4. RBMK-1000, reaktorában egy ún. kifutási kísérletet hajtottak végre, melynek során a kezelők több előírást megsértettek. Elsősorban emberi hiba következtében az egyre gyorsuló, elenőrizhetetlen láncreakció miatt gőzrobbanás, majd vegyi robbanás történt 1986. április 26-án. A számtalan helyen kialakuló tüzet csak 10 nap múlva tudták eloltani. A robbanás során nyitottá vált reaktorból radioaktív anyagok (nemesgázok, mint a kripton és a xenon, illetve a fűtőelemekből ún. forró részecskék) szabadultak ki a környezetbe, és ezek együttese a felmelegített levegővel együtt több kilométer magasságba emelkedtek, illetve Európa számos országába el is jutottak. A baleset két ember közvetlen halálát okozta, az erőmű területén tartózkodó több száz személy pedig nagy dózisu sugárzást kapott. „*A reaktort körülvevő 30 km-es körzetből közel 115 000 személyt evakuáltak*”⁵⁰, míg a közvetlen környék 10 000 km²-en szennyeződött⁵¹. A mai napig is szigorúan ellenőrzött zónaként kezelik, területének belépésére turistaként szigorú túravezetés alkalmával van már lehetőség, ezt leszámítva tilos. Sok kalandvágyó fiatalnak sikerült már problémamentesen bejutnia a területre, de ha valakit elkapnak, börtönbüntetéssel sújtják.

Sajnos pont egy ilyen jellegű incidens kellett ahhoz, hogy a világ nagy atomhatalmai összeüljenek, hiszen minden nukleáris iparban dolgozó szakember megérezte, hogy most összefogásra és kooperációra van szükség. Innentől kezdve vált döntővé a nemzetközi WANO szerepe (magyarul Atomerőmű Üzemeltetők Világszövetsége, angolul *World Association of Nuclear Operators*), amely 1989-ben jött létre Moszkvában azzal a céllal, hogy a világ nukleáris iparát képviselve a nukleáris energiát jobban megértse a társadalommal

⁵⁰ Pató Zsanett: TDK Dolgozat – *A csernobili atomreaktor balesete során létrejött környezetszennyezés vizsgálata mérés és modellezés segítségével*, ELTE TTK, Budapest, 2008.

⁵¹ Kanyár B., Somlai J., Szabó D. L.: *Környezeti sugárzások, radioökológia*, Veszprémi Egyetemi kiadó, 1996.

egy bővebb információszolgáltatással, közös ipari célok kialakításával és az energiavita elősegítésével⁵².

Az akkori utolsó szovjet elnök, Mihail Szergejevics Gorbacsov (oroszul *Михаил Сергеевич Горбачёв*, 1931) abban nehezítette meg az esetet, hogy egy állam felé sem adtak ki hivatalos közleményt Csernobilról. Mindez csak 2 nap múlva, egy svéd megfigyelő állomás révén derült ki, ahol egy radioaktív szennyeződésekkel teli felhőt észleltek, amely Nyugat-Európa felé tart. A kommunikáció-hiány annak is betudható, hogy az akkori szovjet vezetőség nem akart támadhatónak látszani, és versenytársai szemében továbbra is erősnek próbálta magát mutatni. Mindemellett az akkori tudósok nem voltak tisztában azzal, mennyire súlyos problémával állnak szemben, hiszen a katasztrófa nem csak környezeti, hanem társadalmi, egészségügyi és legfőképp olyan gazdasági problémákkal járhat, amelynek helyrehozása több évtizedig is eltarthat. Lord Marshall szavaival élve: *„Egy nukleáris baleset olyan gazdasági kiesést produkál, amely még tovább tart, mint maga a környezetbe kiszabadult radioaktivitás.”*⁵³

1986-ig az európai és ázsiai atomerőmű üzemeltetők nem gondolták át a társadalmi felelősségüket, és legtöbbször az atomerőművek működését jónak, biztonságosnak tartották. A moszkvai tárgyalások még egy kommunikációs problémára világítottak rá: a reaktorok üzemeltetésén dolgozó kollégák nem osztanak meg információkat egymással, viszont a telephelyen kívülre sem szivárgott ki semmilyen adat. A különböző nézetek, vélemények vagy észrevételek figyelembevétele nélkül senki sem tudta a különböző reaktorokkal kapcsolatos tapasztalatait mással megosztani, hiszen szinte minden információ titkosnak számított. Éppen ezért Csernobil sok állam szemét felnyitotta azzal kapcsolatban, hogy a nukleáris jövő megőrzése érdekében szoros együttműködésre és egymás támogatására, szakmai eszmecserére van szükség.

Az együttműködés egyik formájaként már korábban, 1972-ben létrejött az OECD egy specializált ügynöksége, a NEA (magyarul Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet Nukleáris Energia Ügynöksége; angolul *Organisation for Economic Co-operation and Development, Nuclear Energy Agency*), melynek *„küldetése tagországainak segítése a nukleáris energetika tudományos technológiai és jogi kérdéseinek megválaszolásában annak*

⁵² <https://world-nuclear.org/our-association/who-we-are/mission.aspx>

⁵³ Philip L. Cantelon: *Nuclear safety has no borders - A History of the World Association of Nuclear Operators*, Croydon, Anglia, 2016, 4. o.

érdekében, hogy azt gazdaságosan fenntartható és környezetbarát módon lehessen működtetni, és továbbfejleszteni.”⁵⁴

Egy szintén nagyon fontos szervezet jött létre 1979-ben az amerikai Atlantában, Georgia államban: az INPO-t (magyarul „Atomerőmű Üzemeltetők Intézete”, angolul *Institute of Nuclear Power Operations*) ugyanúgy egy nukleáris üzemi esemény, a *Three Mile Island* erőmű esete ihletette, amely egy nem kormányközi szervezet. Legfőbb feladata a kereskedelemben lévő atomerőművek (kezdetben csak amerikaiak) legmagasabb szinten történő biztonságának és megbízhatóságának garantálása. Az INPO elvárja az atomerőművet üzemeltető tagjaitól, hogy a reaktoraik működéséhez szükséges képzéseken és tréningeken részt vegyenek, illetve az ott tapasztaltakat egymás között megvitassák, ezáltal az esetlegesen fellépő, különböző problémákból mindenki tanulhat. A megszerzett tudás segítségével pedig nagyobb valószínűséggel lehet elkerülni a nukleáris baleseteket, és a termelési mutatók is javulnak. A külföldi nukleáris cégek közül a francia villamos áram-szolgáltató EDF csatlakozott elsőként 1981-ben⁵⁵.

A WANO által kitűzött célok a közeljövőben nem a várt sikereket hozták: a Csernobilhoz hasonló katasztrófák megelőzése érdekében a kulturális normák mellett sokszor nyelvi és kommunikációs akadályokba ütköztek az atomerőmű üzemeltetők. Ezen kívül a hiányos vagy egyáltalán nem beérkező jelentések sem könnyítették meg a WANO dolgát, mondhatni ekkor még a nukleáris szakemberek kötelezettségvállalásának hiányával küszködött a szervezet.

Hogy minél érthetőbb legyen a lakosság számára, milyen szintű radioaktív sugárzást kibocsátó eseményről van szó, 1990-ben az IAEA és az OECD-NEA szervezetek létrehozták az INES skálát (magyarul Nemzetközi Nukleáris és Radiológiai Esemény Skála, angolul *International Nuclear and Radiological Event Scale*), melyet elsősorban az atomerőművekben bekövetkezett incidensek minősítésére használtak⁵⁶. 7 különböző szint létezik, melyből az 1-3 szintek üzemzavarok, és a 4-7 szintek a balesetek. A biztonsági jelentőséggel nem járó történéseket skálán kívüli vagy alatti, INES 0 szinttel minősítik. Az alábbi táblázatban látható, hogy a csernobili baleset egy INES 7 szintnek felelt meg, mint ahogy a fukusimai is.

⁵⁴

<https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/web?OpenAgent&article=news&uid=5324B27E0B5B74F3C12582730043E9DD>

⁵⁵ <http://www.inpo.info/>

⁵⁶ <https://www.iaea.org/resources/databases/international-nuclear-and-radiological-event-scale>

<i>INES szint és jelentése</i>	<i>Emberre és környezetre való hatása</i>
7. szint Nagyon súlyos baleset	<ul style="list-style-type: none"> • Csernobil, 1986. Kiterjedt egészségügyi és környezeti hatások. A zónaleltár jelentős részének környezeti kibocsátása. • Fukushima, 2011. A zónaleltár jelentős részének környezeti kibocsátása.

További nukleáris incidensek és balesetek láthatóak még a mellékletben található INES táblázatban⁵⁷.

Napjainkban két szarkofág gondoskodik arról, hogy a természetre és emberiségre káros radioaktív anyagok ne kerülhessenek ki a sérült csernobili reaktorból. Az első védőréteg betonból készült el 1986. november 15-ére⁵⁸, viszont repedései és omlásveszélyessége szükségessé tették egy stabilabb második szarkofág megépítését, amely egy 2011-2016 között felépült acélszerkezetű védőépület⁵⁹.

A fukusimai baleset 2011. március 11-én következett be egy hatalmas, a Richter skála szerinti 9-es magnitúdójú földrengést követően, amely Japán eddigi legerősebb és a világ 4. legnagyobb földrengése volt. A rengés utáni cunami Japán keleti partján 19 000 ember halálát okozta.

„A földrengés időpontjában az atomerőmű hat – a TEPCO (magyarul „Tokiói Elektromosenergia-szolgáltató Vállalat”, angolul Tokyo Electric Power Company) által üzemeltetett – forralóvízes reaktora közül a 4-es, 5-ös és 6-os reaktorok karbantartás miatt nem működtek, az ekkor éppen aktív üzemben lévő 1-es, 2-es és 3-as reaktorok pedig a rengések kezdetekor automatikusan leálltak.”⁶⁰

A földrengés által kiváltott, 14-15 méter magas cunami elérte az atomerőművet, melynek 5.7 méter magas tengeri gátjait áttörte. A tengervíz-szivattyúk és a reaktorok hűtőrendszerének tönkretétele mellett a létesítmény alsó szintjeit és a tartalék dízelgenerátorokat is elárasztotta a víz. 3 erőművi alkalmazott vesztette életét a földrengés és a cunami során, 160 000 embert evakuáltak először a 3 km-es, majd 10 km-es körzetben,

⁵⁷ 3. táblázat mellékletben, a 64. oldalon található.

⁵⁸ <https://ng.24.hu/fold/2016/04/26/ha-elszabadul-az-atomenergia/>

⁵⁹ <https://www.origo.hu/nagyvilag/20161129-helyere-kerult-az-uj-csernobili-szarkofag-a-36-ezer-tonnas-acelszerkezet-az-egesz-serult.html>

⁶⁰ Miniszterelnökség/PTNM: *Japán nukleáris alapú villamosenergia-termelése és energiapolitikája 2021-ben*, 2021.02.26.

viszont radioaktív sugárzást senki sem kapott. A tengerbe szivárgott a reaktorok radioaktív hűtővize⁶¹.

Annak érdekében, hogy egy atomerőműben ne keletkezzen baleset, még a láncreakció leállítása után is szükség van a reaktorok hűtésére, mivel a nukleáris üzemanyag radioaktív bomlása során keletkezett hő megolvasztaná az üzemanyag kazettákat. Mindemellett a hűtővízellátás létfontosságú feladat, hiszen ez által tudjuk lehűteni a reaktorokat. Ha veszélyhelyzet áll elő, ezek áramellátását az ún. veszélyhelyzeti aggregátorokról (általában dízelgenerátorokról) kell biztosítani. Fukusimában a külső villamosenergia-ellátás megszűnése, így a villamosenergia hiánya miatt a reaktorok és azok hűtése is leállt, melynek következtében *„az 1-es, 2-es, és 3-as reaktorban teljes zónaolvadás történt. Az üzemanyag-kazetták megolvadtak az első négy napban, valamint sérülés érte az 1., 2., 3. és 4. blokki pihentető medencéket is”*⁶². Mindeközben több száz kilogramm hidrogén keletkezett, amelyet az erőmű operátorai a környezetbe terveztek kiengedni, ami az 1., 3. és 4. blokki reaktorépületekben robbanásokhoz vezetett. Két héttel a Fukusimában történtek után elsősorban tengervíz, majd júliustól kezdődően az új víztisztító rendszer segítségével hűtötték az 1., 2., és 3. blokkot.

A fukusimai nukleáris katasztrófa esetében hiába került sor a szeizmikus védelem kialakítására és egy esetleges, nagyobb szökőár elleni gát megépítésére, bebizonyosodott, hogy újból emberi hibából fakadóan történt meg a baleset, hiszen a gát magassága nem volt elegendő egy lehetséges szökőár megállítására. További fontos tanulsága ennek az esetnek, hogy a hidrogénkezelési eljárás (*„nitrogénnel töltik fel a hermetikus védőépületet, így abban hidrogénkeletkezés során nem tud robbanóképes elegy létrejönni”*⁶³) javításra szorul, hiszen ha a szellőzőrendszeren keresztül egy másik blokkba is átáramlik, akkor további veszélyhez vagy robbanásokhoz vezethet.

Nemzetközi szinten mindenki meglepetten és még nagyobb aggodalmakkal fogadta a japán nukleáris technológiai törést, amit a Fukusimában történtek okoztak, hiszen pont a szorgosan és precízen munkálkodó Japánról nem gondolta volna egyik állam sem, hogy egy ilyen jellegű baleset áldozata lehet. Mivel teljesen más típusú, forralóvízes reaktoros (BWR) baleset történt, sok kutató és tudós tanácstalan volt, hogyan lehetett volna akkor kezelni a

⁶¹ Dobor József, Kossa György, Pátzay György: *Atomerőművi balesetek és üzemzavarok tanulságai 2.*, Hadmérnök XII. évfolyam 4. szám, 2017.

⁶² Miniszterelnökség/PTNM: *Japán nukleáris alapú villamosenergia-termelése és energiapolitikája 2021-ben*, 2021.02.26.

⁶³ Miniszterelnökség/PTNM: *Japán nukleáris alapú villamosenergia-termelése és energiapolitikája 2021-ben*, 2021.02.26.

fukusimai helyzetet, hiszen a baleset bekövetkezése után már csak utókezelés volt lehetséges. A WANO egy ilyen scenárióra nem volt még egyáltalán felkészülve, semmilyen tapasztalata nem volt a baleset következményeinek enyhítésében, vagy egy lehetséges sürgősségi mentőterv kialakításában⁶⁴. Nem mellesleg, ha a hidrogénrobbanások nem következtek volna be, a környezeti következmények sokkal kisebbek lettek volna. Itt meg kell jegyezni, hogy a paksi atomerőműben hazánk EU csatlakozása előtt végre kellett hajtani a baleseti hidrogén kezelés kiépítését, miközben egy évtizeddel később Japánban ez az átalakítás elmaradt.

Annak érdekében, hogy sikeresen lehessen elkerülni egy Csernobil vagy Fukushima jellegű balesetet, az Európai Tanács döntése alapján a már meglévő atomerőművek reaktorait egy átfogó és átlátható kockázati és biztonsági felülvizsgálatnak, egy ún. „*stressz-tesztnek*” kellett alávetni ahhoz, hogy kiderüljön, vajon továbbra is biztonságos egy reaktor működése. Erre a feladatra az Európai Unió Nukleáris Biztonsági Hatóságok Csoportját (angolul ENSREG - *European Nuclear Safety Regulators Group*) kérte fel, amely az atomerőművek üzemelését és azok biztonsági tartalékait vizsgálja felül⁶⁵.

III.1. Franciaország

Jacques Chirac miniszterelnök 1987-ben olyan rendeletet írt alá, amely szerint Soulaines-Dhuys falu közelében egy kis és közepes radioaktivitású hulladéktárolót kell létesíteni. Ugyanebben az évben vezetett be Franciaország egy újfajta üzemanyagot, a MOX-ot (angolul *Mixed Oxide fuel*: olyan *kevert oxidú*, nukleáris üzemanyag, amely javarészt plutóniumoxid és újra feldolgozott urán egyvelegéből áll⁶⁶) használatát a francia reaktorokban, amely 2012-re 21 reaktor áramtermelésének 10%-át adja.

1990-ben Den Haagban aláírták az első Energia Charta Egyezményt, melynek célja a hidegháború befejezése és a Szovjetunió felbomlása után Európa energiaipari hálózatának megreformálása. Ekkor ez a lépés azért volt fontos, mert minden állam egyetértett abban, hogy egy nyitott együttműködés az energiaszektorban szükségessé vált, hiszen egy nemzetközi energiakereskedelem még stabilabbá teheti egyes államok energiabiztonságát, nem is beszélve a versenyképességről és az egyre növekvő fogyasztói igények biztosításáról. További missziója a fenntartható fejlődés garantálása⁶⁷.

⁶⁴ Philip L. Cantelon: *Nuclear safety has no borders - A History of the World Association of Nuclear Operators*, Croydon, Anglia, 2016, 191. o.

⁶⁵ Oda Becker: *A Critical Review of EU Nuclear Stress Tests in Bulgaria, Hungary, Romania and Ukraine*, Energiaklub, 2013.

⁶⁶ http://old.mta.hu/data/cikk/13/64/74/cikk_136474/JRC-EASACleaflet_HU_web.pdf

⁶⁷ <https://www.energycharter.org/process/overview/>

1991-ben a francia kormány felkérte az ANDRA szervezetet olyan mélyreható kutatások elvégzésére, amelyek az elkövetkezendő 15 évben a közepes és magas radioaktivitású hulladékok tárolására megoldást találnak.

1998-ban Lionel Jospin francia miniszterelnök (1937-) bejelentette a Superphénix reaktor leállítását, mivel 1978-ban és 1997-ben két kisebb incidens történt. Ugyanebben az évben Meuse-Haute-Marne-ban telephelyet alakítottak ki egy földalatti laboratóriumnak ahhoz, hogy a radioaktív tárolás későbbi megoldásaként különböző sugárelnyelő anyagokkal kísérletezzenek, mint pl. az agyag. 2004-ben az ANDRA már arról publikált, hogy a kutatóbázison végzett kísérleteik bizonyítottan alkalmasak a közepes és nagy radioaktivitású nukleáris hulladékok hosszú időtartamú tárolására.

2001-ben a CEA kezdeményezésére létrejött az AREVA, amely a FRAMATOME mellett több kisebb, nukleáris alapon működő energiaszolgáltatót fogott össze 2016-ig.

2005 óta törvényben meghatározta az akkori francia kormány, hogy a 21. századi világ két legnagyobb kihívását – az üvegházhatású gázok elleni harc, illetve az olaj- és gázárak további emelkedése – négy főbb pont segítségével kell kezelni, melyek

- az ellátásbiztonság garantálása;
- jobban védjük környezetünket az üvegházhatású gázok ellen;
- olcsó és versenyképes áram szolgáltatása nem csak a fogyasztónak, hanem az ipar számára is;
- mindenki számára elérhető villamosenergia biztosítása, a szegénység felszámolása.

Franciaország 2005-ben a harmadik generációs, francia EPR reaktortípusnak (magyarul Európai Nyomottvizes Reaktor, angolul *European Pressurised Reactor*) is zöld utat enged, illetve a megújuló energiák használatát is támogatja.

Szintén 2005-ben, az Európai Unió egyik szabályozása kapcsán jött létre az EDF leányvállalataként az RTE villamosenergia rendszerirányító (franciául *Réseau de Transport d'Electricité français*), amely a maga 106.8 ezer km hosszú villanykábelével Európa legfontosabb villamoshálózati rendszere. 99.99%-os energiaszolgáltatást biztosít, és 4.729 millió eurós árbevétele van. Legnagyobb célja, hogy 2050-re elérje a teljes karbonmentességet. Gazdaságos, biztos és tiszta áramszolgáltatást kíván nyújtani minden nap Franciaországban és Európában, az energetikai átállást pedig a megújuló energia bevonásával és több erőmű üzembe helyezésével kívánja teljesíteni. Ezen kívül az állam különböző régióinak villamoshálózatát szeretné fejleszteni ahhoz, hogy minél versenyképesebb maradjon a

teljes ország energiaellátása⁶⁸. Éppen ezért már 2003 óta a francia lakosság is be van vonva a jövőbeli nukleáris energiát érintő tervekbe, ugyanis az akkori kormány egy országos vita formájában kérte meg a francia állampolgárokat, hogy döntsenek az ország jövőbeli energiaellátásáról, illetve mondják el véleményüket a globális felmelegedésről és a 2020-tól kezdődő reaktorok lecseréléséről vagy üzemidő-hosszabbításáról. Végeredményként kiderült, hogy továbbra is fontos tényező a nukleáris energia használata.

2006-ban Franciaország bevezette a TSN-törvényt (magyarul „Törvény a nukleáris ügyek biztonságáról és átláthatóságáról”, franciául *loi sur la Transparence et la Sécurité en matière Nucléaire*)⁶⁹, mellyel egyidőben létrejött az ASN (magyarul „Nukleáris Biztonsági Hatóság”, franciául *Autorité de Sûreté Nucléaire*). Missziója a nukleáris energia szabályozása, ellenőrzése és a társadalom informálása, illetve bevonása bármely nukleáris történéssel kapcsolatban⁷⁰. Ezen kívül sor került még egy másik törvény bevezetésére, amely a radioaktív hulladékok fenntartható kezeléséről, azon költségeiről és az üvegházhatású gáz kibocsátás minimalizálásáról szólnak⁷¹.

2010-ben a francia állam 100 millió euróval támogatta az ANDRA radioaktív hulladéktárolással kapcsolatos kutatásainak folytatását, ekkor kezdődött az Astrid projekt (angolul *Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration*)⁷² nevű együttműködés Japán és Franciaország között, melynek eredményeképp egy negyedik generációs, gyorsneutronos reaktort létesítenének. A két ország az újgenerációs prototípust több környezetvédő tulajdonsággal kívánja bővíteni, mint pl. az urán üzemanyag teljes újrahasznosításával és a transzmutáció során keletkező radioaktív hulladékok minél fenntarthatóbb kezelésével.

2012-ben az akkori francia államelnök, François Hollande (1954-) összehívta a nukleáris politikai tanácsát, akivel egyet értettek abban, hogy még további 40 évvel meg kell hosszabbítani második generációs reaktoraikat, a távoli jövőben pedig Penly-ben építenék meg második EPR reaktorukat. Ez utóbbi terv a fukusimai baleset miatt eltolódik, melynek újraindítási tárgyalásai jelenleg is zajlanak⁷³. Ugyanekkor megépül a legnagyobb naperómű

⁶⁸ rte-france.com

⁶⁹ Az Európai Közösségek Bizottsága: *A Bizottság Közleménye a Tanácsnak és az Európai Parlamentnek – Nukleáris tájékoztató program*, Brüsszel, 2007.

⁷⁰ <https://www.asn.fr/L-ASN/Presentation-de-l-ASN/Les-missions>

⁷¹ Az Európai Közösségek Bizottsága: *A Bizottság Közleménye a Tanácsnak és az Európai Parlamentnek – Nukleáris tájékoztató program*, Brüsszel, 2007.

⁷² <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/astrid-futur-reacteur-nucleaire-de-4eme-generation-3042/>

⁷³ https://www.lemonde.fr/economie/article/2020/12/18/nucleaire-edf-choisit-le-site-de-penly-pour-construire-deux-epr_6063808_3234.html

Rosères-en-Haye-ben, amely az EDF-EN (magyarul „Új-energiák”, franciául *Energies-nouvelles*) szerint egy 55 000 fős város energiaellátására lesz képes évente.

III.2. Németország

1988-ban az Isar 2 és az Emsland reaktorokat üzembe helyezték, rá egy évre 1989-ben pedig a Neckarwestheim II reaktort is rákapcsolták a villamoshálózatra.

A Szovjetunió széthullása után 1990-ben az új *Bundesland* tartományok is csatlakoztak a német atomtörvényhez a szovjet típusú Rheinsberg és Greifswald erőművek leállításával. A Den Haagban 1991-ben aláírt Európai Energia Charta Egyezmény Németország villamosáram-hálózatának megszilárdításában segített, hiszen már ekkor is számos kisebb, területi energiaszolgáltató versengett a fogyasztók kegyeiért.

1994-ben egy olyan létesítményt hoztak létre Hanauban, ahol a már nem használható radioaktív anyagok tárolása mellett MOX üzemanyag gyártására is van lehetőség. 1995-ben megkezdődött a gorlebeni tárolóegység használata, a Würzgassen atomerőművet pedig bezárták. 1997-ben alapították Németország egyik energiaszolgáltatóját, az EnBW-t (németül *Energie Baden-Württemberg*), amely a karlsruhe-i *Badenwerk* és a sváb energiaszolgáltató EVS (németül: *Energie-Versorgung Schwaben*) egyesítésével jött létre⁷⁴. Az EnBW részvényeinek több mint 46%-ával rendelkező OEW (magyarul „Felsősváb Villamosművek Célközössége”, németül *Zweckverband Oberschwäbische Elektrizitätswerke*) 1909-ben alakult, 9 területi áramkört magába foglaló energiaszolgáltató⁷⁵.

Az első, leginkább zöld energiapolitikát követő német kormány a társadalmi elégedetlenség és tüntetések miatt 1998-ban az ERAM radioaktív hulladéktároló telephely működését megszüntette.

2000-ben a német kormány és az energiaszolgáltatók között született egy olyan megállapodás, amely szerint a szolgáltatók az atomerőművek által termelt villamosenergia bizonyos részét kívánják értékesíteni annak érdekében, hogy az állam zavartalanul engedje további működésüket, hiszen az atomerőművek mind más-más energiaszolgáltatóhoz tartoztak. Az erről szóló szerződés 2001-ben került aláírásra, amely a német atomtörvénybe is bekerült. 2002-ben újbóli tárgyalásokat követően módosult az atomtörvény, amely szerint az atomenergiát fokozatosan le fogják építeni Németországban (németül *Atomausstiegsgesetz*)⁷⁶.

⁷⁴ <https://www.enbw.com/unternehmen/konzern/ueber-uns/unternehmensportrait/>

⁷⁵ http://www.oew-energie.de/OEW_daten.html

⁷⁶ Az Európai Közösségek Bizottsága: *A Bizottság Közleménye a Tanácsnak és az Európai Parlamentnek – Nukleáris tájékoztató program*, Brüsszel, 2007.

Németország másik legnagyobb energiaszolgáltatója az E.ON, ami egy essen-i székhelyű energiaszolgáltató, 2000-ben alapították. Több német energiaipari társaság egybeolvadásával jött létre, mint a VEBA (magyarul „Hegy- és Elektromosművek Egyesülete”, németül *Vereinigte Elektrizitäts- und Bergwerks AG*) és a VIAG (magyarul „Német Ipartársaságok Egyesülete”, németül *Vereinigte Industrieunternehmungen AG*), az utóbbi két cég eredete viszont az 1920-as évekre nyúlik vissza. A német földgázpiac kb. 60%-át ő birtokolja, mivel 2001-ben a Ruhrgas AG részvényeinek nagy részét felvásárolta. Aktívan megtalálhatjuk Nagy-Britanniában, a skandináv országokban és az USA-ban⁷⁷. További fontosabb energiaszolgáltatók még a Vattenfall, amit 2002-ben a svédek leányvállalataként alapítottak⁷⁸, illetve a német EWE (németül *Energieversorgung Weser-Ems*), amely 1943-ban alakult⁷⁹.

2002-ben a Konrad hulladéktároló kutatóprogramot, 2003-ban pedig kereskedelmi megfigyelések alapján a Stade atomerőművet állították le. Rá két évre, 2005-ben az obrigheimi atomerőművet is kivonták a forgalomból.

2007-ben létrejött a német délnyugati, nukleáris kutató- és oktatóközpont Karlsruhe-ban (németül *Südwestdeutsche Forschungs- und Lehrverbund Kerntechnik*), illetve a Clausthal Egyetemen létrehoznak egy olyan kutatócsoportot, amely a kiegészített radioaktív üzemanyagok hosszútávú tárolásának lehetőségeit keresi.

2010-ben a német kormány döntése alapján átlagosan 12 évig tudják atomerőműveik üzemidejét meghosszabbítani. Ez év elején Németország egyetlen urándúsító üzemében, a gronau-i urándúsítóban baleset történt, amely heves tiltakozást váltott ki a környezetvédők és az atomenergia használatát elítélő csoportok körében⁸⁰. A gorlebeni tárolóhelyen újabb kutatások kezdődnek meg.

A 2011-ben bekövetkezett fukusimai atombaleset után Németország az *Energiewende* (magyarul „Energiafordulat”) energiastratégiára váltott, melynek célja az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése atomenergia használata nélkül. Ezért 7 nukleáris egységet zártak be, amelyek 1980 előtt lettek üzembe helyezve, és további tervként 2023-ra az összes atomerőművét teljesen ki kívánja vonni a villamoshálózatból⁸¹. Mindezek üzemén kívüli helyezése és fokozatos leépítése eurószázmilliókba kerülnek: az RWE és a Vattenfall ezért pert is indítottak a német állam ellen, hiszen óriási bevételi forrástól esnek el és beruházásaik

⁷⁷ <https://www.klett.de/alias/1010663>

⁷⁸ <https://group.vattenfall.com/de/unternehmen/geschichte>

⁷⁹ <https://www.ewe.com/de/konzern/ueber-uns/geschichte>

⁸⁰ https://hvg.hu/vilag/20100122_baleset_urandusito_uzem_nemtorszag

⁸¹ <https://www.cleanenergywire.org/germanys-energiewende-brief>

ezáltal nem térülnek meg. **A kormány energiastratégiájának megváltoztatása pillanatában nem is kérte ki az atomerőművet működtető energiaszolgáltatók véleményét**, akik kompenzációt kérnek és kapnak a létrejött gazdasági veszteség orvosolására.⁸² 2014-ben már arról olvashatunk a sajtóban, hogy az atomerőművet üzemeltető vállalatok inkább a német államra bíznák a reaktorok leszerelését. Az E.ON, az RWE és az EnBW 30 milliárd euró felajánlásával alapítatnának egy olyan német közalapítványt, amely teljesen átvállalná az atomerőművek üzemeltetését és annak költségeit azok bezárásáig, illetve a radioaktív hulladékot és a feleslegessé váló nukleáris fűtőanyagot kezelni. Egy atomerőmű teljes felszámolása ugyanis nem egyszerű feladat: akár 15-20 évig is eltarthat, melynek költségei több milliárd euróba is kerülhetnek.⁸³

2017-ben bezárták a Grundremmingen atomerőművet. További kutatások folynak a nukleáris hulladékok megfelelő, végleges tárolóhelyének felkutatásáról.

A történelmi áttekintésből is tisztán láthatjuk, hogy míg a franciák nem, a németek leálltak minden fejlesztéssel, és teljesen elkezdtek leépíteni atomerőmű-kapacitásaikat. A csernobili és a fukusimai balesetekben történtek miatt Németországban az atomipar nem tűnt biztos energiaellátási alternatívának, és a kutatás-fejlesztések helyett félelemből dönthettek a megújuló energiaforrások által kínált technológiák további fejlesztése és használata mellett. Hogy vajon a jövőben tervezi-e, hogy visszatér-e az atomenergiához, nyitott kérdés marad, hiszen rengeteg egymással ütköző véleményt olvashatunk a médiában: míg a német kormány erősen kitart 2011-es döntése mellett, hogy az atomerőművek leállítása szükséges, mivel a technológia ökológiailag, gazdaságilag és társadalmi szempontból nem biztonságos⁸⁴, a politikusok egy része újbóli szimpátiáját fejezi ki a nukleáris üzemanyag által termelt villamosenergia felé.⁸⁵

⁸² <https://24.hu/fn/gazdasag/2018/05/23/eurosazmilliokba-kerulhet-a-nemeteknek-az-atomeromuveik-leallitasa/>

⁸³ <https://infostart.hu/gazdasag/2014/05/11/az-allamra-biznak-atomeromuveiket-a-nemet-energiaszolgáltatok-636402>

⁸⁴ <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/fragen-und-antworten/kernkraft>

⁸⁵ <https://www.welt.de/politik/deutschland/article205498035/Positionspapier-CDU-zeigt-sich-offen-fuer-Rueckkehr-zur-Atomkraft.html>

IV. AZ AKTUÁLIS ÉS A JÖVŐBEN VÁRHATÓ VILLAMOSENERGIA TERMELÉSI ÉS FOGYASZTÁSI PIAC ELEMZÉSE, PIACI FOLYAMATOK FELTÁRÁSA FRANCIAORSZÁGBAN ÉS NÉMETORSZÁGBAN

IV.1. Energiatermelés a világon

A villamosenergia termelés és fogyasztás bár elemezhető országokként, fontos azonban, hogy világviszonylatban ugyanúgy feltárjuk a folyamatokat.

A villamosáram iránti igény a Nemzetközi Energiaügynökség (továbbiakban IEA, mint *International Energy Agency*) előrejelzései szerint 60%-kal növekedhet 2040-re a 2017-es adatokhoz viszonyítva. A földgáztüzelésű energiatermelők a széntüzelésű erőművek kapacitását 2030-ra megelőzi, a fotóvoltaikus naperőművek pedig a szélerőműveket 2025-re. Bár számos atomerőmű építését tervezik, azok száma jóval elmarad a megújulók terjeszkedése mellett. Globálisan elmondhatjuk, hogy 2040-re a villamosáram-termelés legfőképp szélből és gázból (mindkettő 23%-os arányban), illetve napfényből nyert energiából (20%) fog összetevődni. Az energiatermelő fosszilis tüzelőanyagok használata a mai 60%-ról 50%-ra csökkenhet 2040-re, amivel egy ütemben a megújulók növekedni fognak a jelenlegi 24%-ról 40%-ra 2040-re. A nukleáris részarány 10% körülre tehető, melynek legnagyobb erőműflottája 2030-ra Kínában lesz.⁸⁶

A globális teljes villamosenergia-termelés mértéke a STEPS szerint (magyarul „jelenleg tervezett intézkedéseken alapuló forgatókönyv”, angolul *Stated Policies Scenario*) várhatóan a 2018. évi 26 603 TWh-ról (ez az érték 2016-ban még csak 24 765 TWh volt!) 2030-ra 34 140 TWh-ra és 2040-re 41 373 TWh-ra növekedhet. A Fenntartható Fejlődés Forgatókönyve szerint a 2018. évi érték 2030-ra 31 800 TWh-ra, 2040-re pedig 38 713 TWh-ra nő. Ez óriási növekedés, amely egyértelműen azt jelzi, hogy a fejlett és a fejlődő országoknak is egyre több villamos energiára van és lesz szüksége.

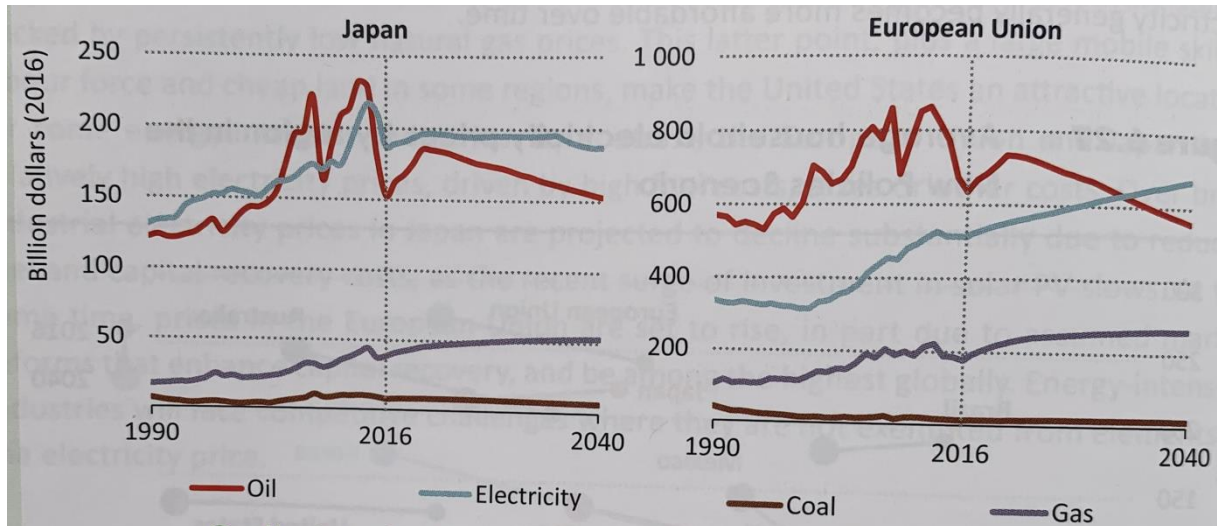
A megújuló energiaforrások mellett az atomenergia részaránya is szignifikáns növekedést mutat. Az atomerőművek 2018. évi globális, 2718 TWh termelése 2030-ra 3435 TWh-ra, 2040-re pedig 4409 TWh-ra növekedhet. Éppen ezért a nukleáris kapacitások évente átlagosan 15 000 MW-tal bővíthetnek.⁸⁷

Az EU-ban a villamos áram végfelhasználói 2033-ra be fogják érni az olajon alapuló terméket használókat, hiszen jellemzően a villamoshálózat fejlesztése és bővítése a cél. Az épületek villamosenergia használatát évente 0.5%-kal nő, míg az olajhasználat 7%-kal esik

⁸⁶ International Energy Agency: *World Energy Outlook 2017*, 229. o.

⁸⁷ International Energy Agency: *World Energy Outlook 2018*, 347. o.

évente. A közlekedési szektorban egyre többet használt elektromos áram szintén hozzájárul az olajtüzelésű energiatermelők energiájának csökkenéséhez: évente 18%-kal fog nőni az elektromos áram használata az utakon, így a benzinolaj használata kb. 60%-kal fog esni 2040-re a 2017-es becslések szerint.⁸⁸



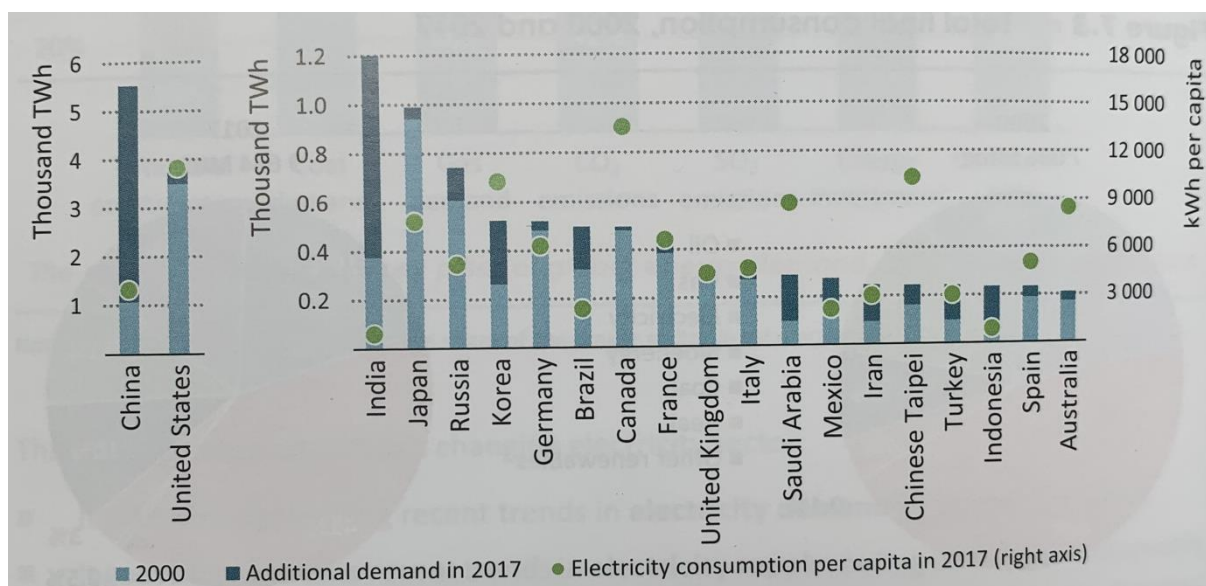
6. ábra: Előrejelzés a végfelhasználók energiakiadásáról üzemanyag és az Új Energiapolitikai Forгатókönyv szerinti⁸⁹

A felső ábrán is láthatjuk, hogy az EU szén- és gázolaj üzemanyaghasználata egyre csökkeni fog, mivel a jövőben a kormányok villamos áram segítségével kívánják megoldani az épületek fűtését is, így támogatva nem csak a természetbarát és tiszta energiájú energiapolitikai célokat, hanem a fenntartható fejlődést is. A villamosáram iránti növekedő igény a kőolajat több szektorban fel fogja váltani.

⁸⁸ International Energy Agency: *World Energy Outlook 2017*, 280. o.

⁸⁹ International Energy Agency: *World Energy Outlook 2017*, 280. o.

A villamosáram használatban 2000-2017 között az alábbi államok jártak az élen:

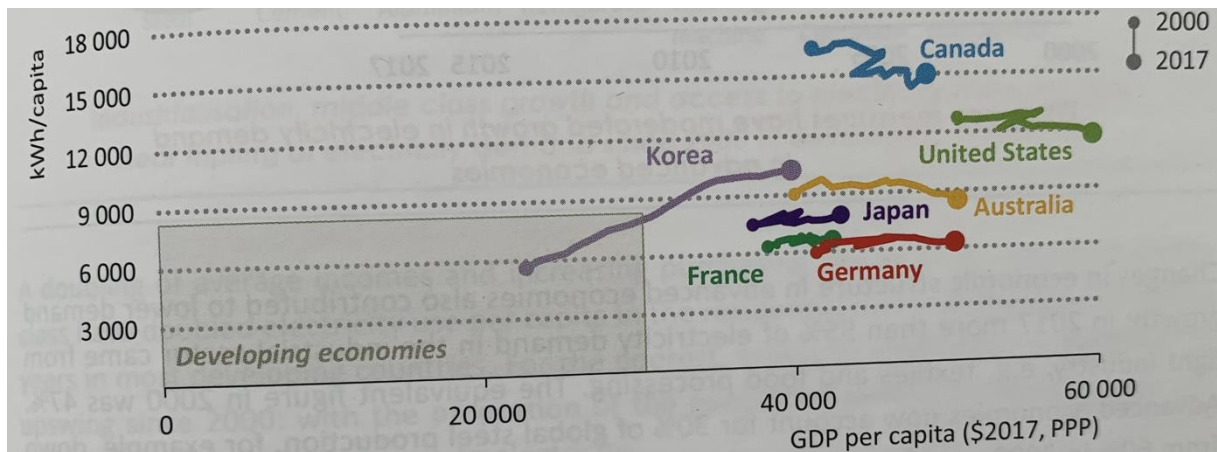


7. ábra: Top-20 állam villamosáram-fogyasztása 2000-2017 között és az egy főre jutó villamosáram-fogyasztás 2017-ben⁹⁰

Könnyen észrevehetjük, hogy Kína villamosenergia-fogyasztása több mint 5 ezer TWh-val nőtt 2000 óta, ezzel ő használja a legtöbb villamosenergiát a Földön, viszont az egy főre jutó villamosáram-fogyasztása csak 3 ezer kWh körül mozog. Az USA második helyen szerepel és 2017-re alig történt a villamosenergia-kereslet iránti növekedés, viszont az egy főre jutó villamosáram-fogyasztása az európai értékekhez képest magasnak mondható. Az EU országai közül Németországot mondhatjuk a legnagyobb villamosenergia felhasználónak, mellyel Franciaországot is megelőzi, viszont itt már láthatjuk, hogy 2017-ben csekélyen nőtt az villamosenergia iránti kereslete, míg Franciaországban szinte változatlan maradt.

Francia- és Németországot a fejlett európai államok kategóriájába sorolhatjuk, melyek villamosenergia-fogyasztása az egy főre jutó GDP-hez (magyarul bruttó hazai termék, angolul *Gross Domestic Product*) és a vásárlóerő-paritáshoz (angolul PPP, mint *Purchasing Power Parity*) hozzájárul:

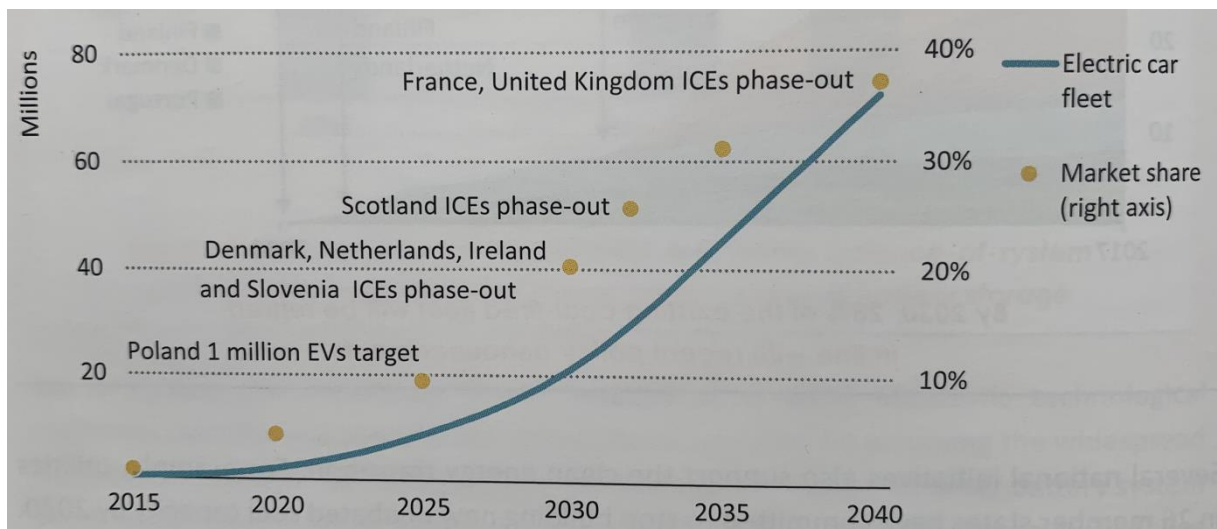
⁹⁰ International Energy Agency: *World Energy Outlook 2018*, 286. o.



8. ábra: A villamosáram-fogyasztás és az egy főre jutó GDP közti összefüggés⁹¹

A fejlett államok esetében láthatjuk, hogy stagnáló értékekről beszélhetünk, ami arra enged következtetni, hogy a jövedelmek bár növekedtek az elmúlt évtizedek alatt, ehhez képest minimális a villamosáram-fogyasztás további növekedése. A közlekedési szektor viszont a fejlődés háromnegyedét biztosítaná a személygépjárművek villamosításával, melynek fogyasztási részesedését 4%-ra becslik 2040-re, ami napjainkban csak 0.1%. Az elektromos autók bevezetésével a 2017-ben még 1 millió személygépjárműből 2040-re már minden negyedik, vagyis összesen 70 millió autó működne elektromosan az EU-ban.

36



9. ábra: Előrejelzés az EU-ban található elektromos autók flottájáról az Új Energiapolitikai Forogatókönyv szerint 2015-2040 között⁹²

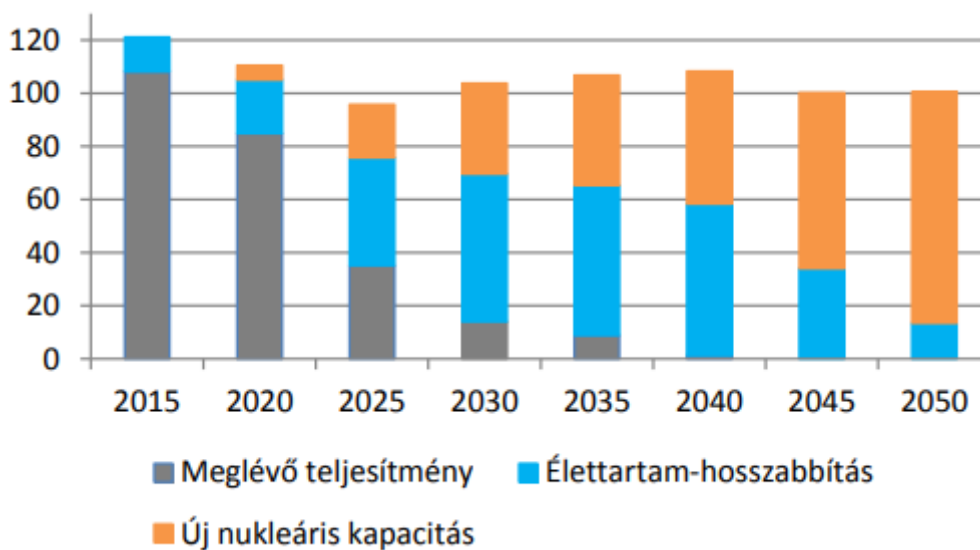
A legnagyobb fejlődést az elektromos járműhasználat terén Franciaország kívánja elérni, aki 2040-re teljesen betiltaná a belső égésű motorhajtású (angolul ICE, mint *Internal Combustion Engine*) autók használatát, ezzel hozzájárulva a karbonmentes energiastratégiájához.

⁹¹ International Energy Agency: *World Energy Outlook 2018*, 287. o.

⁹² International Energy Agency: *World Energy Outlook 2018*, 368. o.

Egy atomerőmű építésekor a tervezett élettartam 60 év között fekszik, ami a jövőben több kérdést vet fel, mivel a nukleáris energia nagyban hozzájárul a villamosenergia ellátásbiztonságához és a környezetvédelmi célok elérésében. Az üzemidőhosszabbítások bár egy ideig orvosolják a fenntarthatósági problémákat, de az új blokkok építése és üzembehelyezése több évtizedekig is eltarthat, ami gazdaságilag kimeríthet egy országot. Magyarország mind a 4 Pakson található nukleáris reaktorblokk 20 éves üzemidőhosszabbítását hajtotta végre, a Cseh Köztársaság pedig további 20 évet kért a 4 Dukovany blokkjához. A francia EDF is megkapta az 40 éven túli üzemidőhosszabbítási engedélyt.

A 2011-es fukusimai baleset után viszont arra gondolhatunk, hogy számos további kihívás vár még a nukleáris energiaflottára, hiszen több országban a nukleáris energiatermelést – a közvélemény nyomására - felváltották a megújuló energiatermelők, melyek nagy versenytársai lesznek az atomerőműveknek. Az EU-ban a nukleáris energiatermelés a jelenlegi 25%-ról 5%-os részesedési arányra csökkenhet 2040-re, a STEPS tervezet szerint ez az arány 16%. Ekkorra Németország már megvalósította atomenergiájának megszüntetését, és Franciaországban is csökken az atomerőmű-flotta.⁹³



10. ábra: Az EU teljes nukleáris kapacitása (GWe)⁹⁴

Az Európai Bizottság 2016-os előrejelzése szerint az Unióban 2025-ig csökkenni fog a nukleáris termelési kapacitás, mivel egyes tagállamok megszüntetik az atomenergia használatát, vagy pedig csökkentik annak részesedését energiaszerkezetükben (mint pl. Németország az Energiewende energiapolitikát követve vagy az új francia energetikai átállási

⁹³ International Energy Agency: *World Energy Outlook 2018*, 347. o.

⁹⁴ Európai Bizottság: *Közlemény a nukleáris indikatív programról az Euratom-Szerződés 40. cikke értelmében az Európai Gazdasági és Szociális Bizottság általi véleményezésre*, 2016.

törvény). Ez a tendencia 2030-ra megfordul, amikor új reaktorokat terveznek a hálózathoz csatlakoztatni. Ezen kívül további reaktorok élettartamát is meg fogják hosszabbítani. A nukleáris kapacitás enyhén növekedni fog, ami 2050-re 95 és 105 GWe között fog stabilizálódni. Mivel a villamosenergia iránti kereslet is nőni fog ugyanebben az időszakban, az atomenergiával termelt villamosenergia aránya a jelenlegi 27%-os szintről 20%-ra csökkenhet az EU-ban. Kapacitáspótló beruházások 2050-ig valószínűleg a legfejlettebb reaktorok – például az EPR, AP 1000, VVER 1200, ACR 1000 és ABWR típusok – esetében valósulnak meg. Mindemellett viszont szükség van a már meglévő reaktorblokkok átalakítására, ami jelentős beruházásokat igényel: „2015 és 2050 között 3,2-4,2 milliárd eurót kell befektetni az Unió energiaellátásába”.⁹⁵ Mindez magában foglalja a villamosenergia-hálózat modernizálását, illetve az erőművekbe (ideértve a villamos energiát és a kapcsolt energiatermelést) és a gőzkazánokba történő beruházásokat

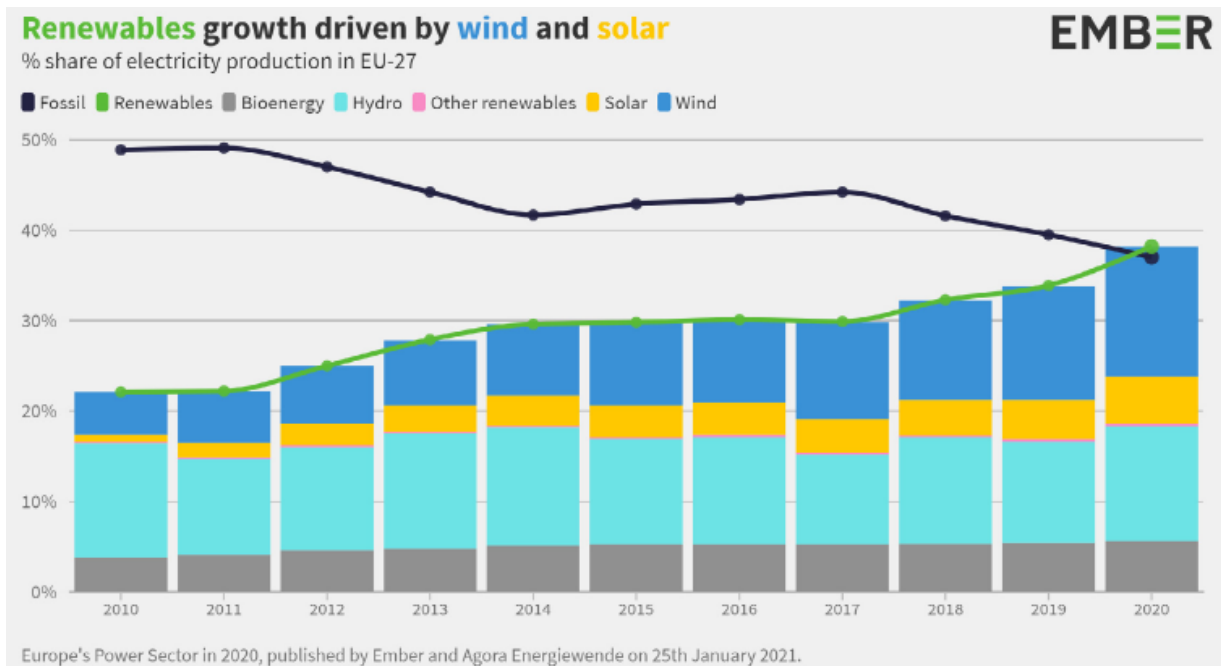
Ez az óriási csökkenés az energia- és ellátásbiztonságot abban az esetben veszélyeztetheti, ha a kieső energiaforrások sürgősen nem kerülnek pótlásra a szél- és naperőművek energiatermelés növekedésének bevonásával és ezeket segítő, kiegészítő hagyományos (pl. gáz alapú) erőművek építésével. Becslések szerint egy évtizeden belül a szélerőművek lesznek az első helyen a villamosáram termelők közül a világon, melynek aránya 2030-ra elérheti az 55%-ot, 2040-re pedig a 63%-ot.⁹⁶

Európában a szélerőművek termelése 9%-kal, a naperőműveké pedig 15%-kal nőtt 2020-ban, mellyel napjaink elektromos áramának 1/5-ét termelték ki. A megújulók közül a szél- és naperőművek flottája fejlődött a leginkább, míg a bioenergiáé stagnált, a vízerőművek száma pedig változatlan maradt. Továbbra is azt láthatjuk, hogy a megújuló erőműforrások bővülnek, ennek növekedése viszont csekély, és ahhoz, hogy az EU Green Deal tervet meg tudja valósítani, meg kell háromszoroznia a szél- és naperőművek kapacitását: a 2010-2020 években a bővítés 38 TWh-át tett ki évente, amit 2020-2030 periódusban viszont 100 TWh-ra kellene emelni évenként. Biztató jelnek számít, hogy 2020-ban 51 TWh teljesítménnyel bővült a szél- és naperőművek arzenálja a koronavírusról függetlenül, az IEA 2021-ben még egy ennél is nagyobb növekedésre számít. Az új szél- és naperőművek jelenleg 72 TWh

⁹⁵ Európai Bizottság: *Közlemény a nukleáris indikatív programról az Euratom-Szerződés 40. cikke értelmében az Európai Gazdasági és Szociális Bizottság általi véleményezésre*, 2016.

⁹⁶ International Energy Agency: *World Energy Outlook 2018*, 369-370. o.

teljesítménnyel üzemelnek, de mindez a kitűzött és a jövőben szükséges 100 TWh/év adathoz nem elég.⁹⁷



A fenti táblázatban láthatjuk, hogy az EU 27 tagországában a megújuló energiatermelők közül szél- és naperőművek aránya nőtt leginkább 2010-2020 között, lassan beérve a széntüzelésű források energiakibocsátását.⁹⁸

IV.2. Franciaország és Németország

A csernobili baleset után még 20 új reaktort helyezett üzembe Franciaország, melyek további max. 27 303 MW-os kapacitással üzemeltek. Ezek közül a már említett Superphénix reaktor került csak bezárásra. A fukusimai baleset után összesen 56 aktív reaktossal rendelkezik Franciaország, melyek összesen 61 370 MW-os kapacitással termelnek 382 TWh elektromos áramot. Jelenleg 4 darab nukleáris reaktora üzemel 1 450 MW kapacitáson, 20 darab 1 300 MW-on és 32 darab pedig 900 MW-on. Ez utóbbi éves termelése 500 000 MWh, mellyel kb. 400 ezer háztartás energiaellátására képes. Eddig összesen 14 reaktor került leállításra, köztük a Fessenheim 1-2 és a Chinon-A telephely 3 blokkja. A flamanville-i EPR reaktor üzembehelyezését 2022-re tervezik, mivel annak építése és tesztelése további időt igényel.

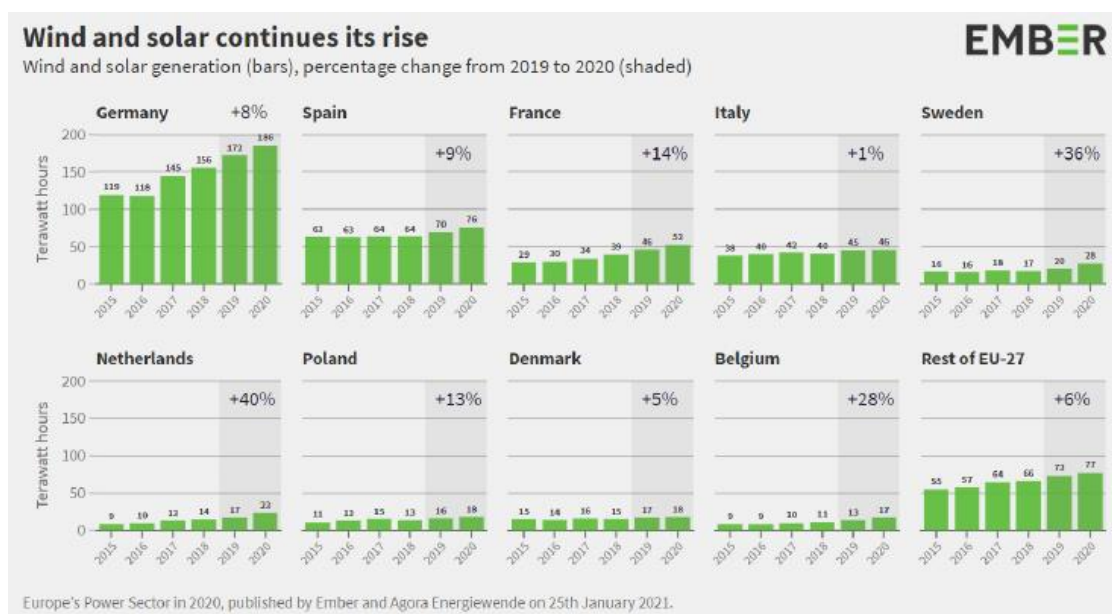
⁹⁷ Agora-Ember Energiewende: *The European Power Sector in 2020: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition*, 2021., 5. o.

⁹⁸ Agora-Ember Energiewende: *The European Power Sector in 2020: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition*, 2021., 7. o.

2019-ben a nukleáris energiatermelés részaránya 70.6%-ot tett ki⁹⁹, a maradék 29.4% pedig olyan megújuló energiaforrásokból származott, mint a víz- (11.2%, 60 TWh), a hő- (7.9%, 42.6 TWh), a szél- (6.3%, 34.1 TWh), a naperőművek (2.2%, 11 TWh) és a biomassa (1.8%, 9.9 TWh)¹⁰⁰. Mivel szomszédaival ellentétben Franciaországnak nincsenek olyan természetben fellelhető ásványkincsei, mint a kőolaj, a földgáz vagy a szén, ezért szinte teljes karbonmentességgel állít elő villamos áramot az atomenergiának köszönhetően.¹⁰¹

Franciaország 2016-ban energiapolitikájának bővítésénél elhatározta, hogy a párizsi egyezményben foglaltak alapján megújuló erőművekbe is befektet: 2023-ra 18 GW napenergiát és 22 GW szélenergiát kíván létesíteni, a vízenergia 26 GW mértéket pedig 2030-ra kívánja elérni.¹⁰²

Az alábbi táblázatból kiderül, hogy a megújuló energiaforrások létesítésének arányában Franciaország tett egy nagyobb lépést 2020-ban (+14%). Bár sok évnek kell még eltelnie ahhoz, hogy Németországot utolérje az energiatermelésben (186 TWh), 2035-re az 50%-ra csökkentett nukleáris flottáját zöld energiatermelők használatával kívánja pótolni.¹⁰³



⁹⁹ <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=FR>

¹⁰⁰ <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-nucleaire-en-chiffres>

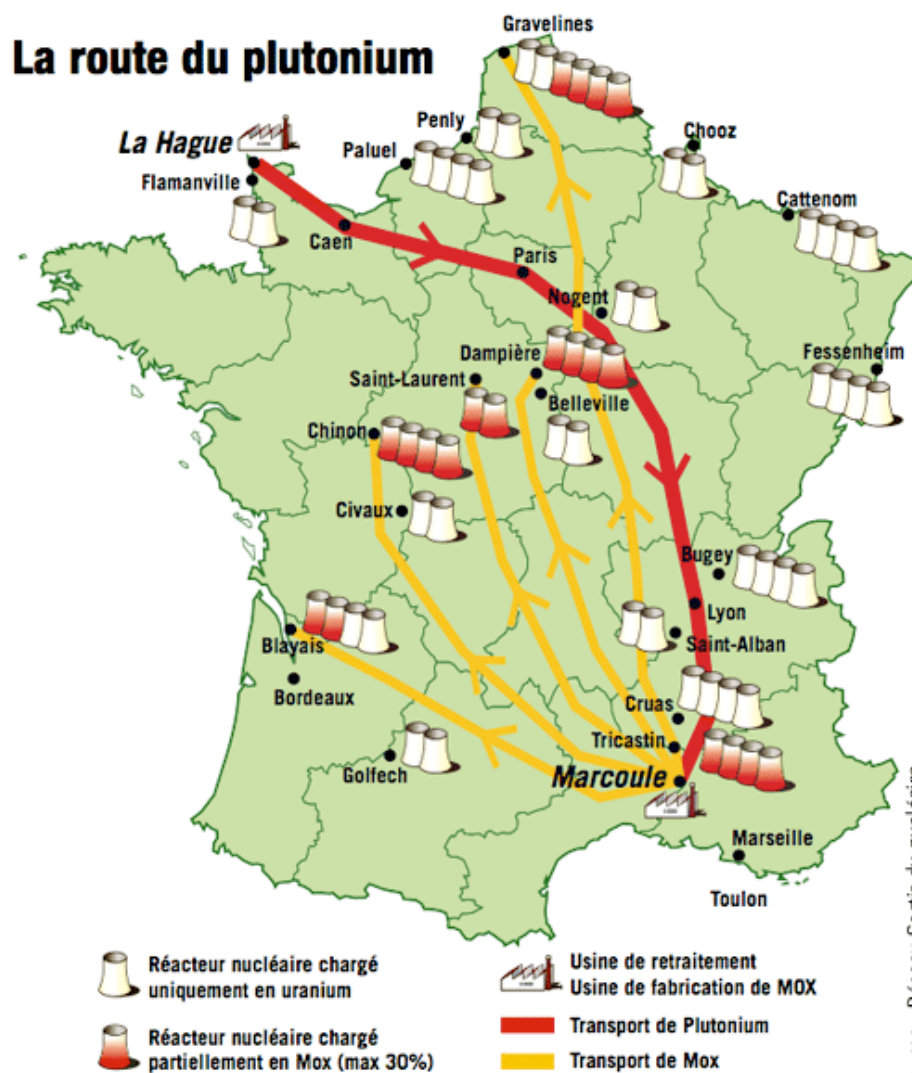
¹⁰¹ <https://www.sfen.org/energie-nucleaire/panorama-nucleaire/nucleaire-france>

¹⁰² International Energy Agency: *World Energy Outlook 2017*, 297. o.

¹⁰³ OECD NEA: *Nuclear Energy Data 2020*, 2021., 59. o.

¹⁰⁴ Agora-Ember Energiewende: *The European Power Sector in 2020: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition*, 2021., 8. o.

Franciaország a nukleáris energia minden területén önellátó: az urándúsítástól kezdve az atomerőműépítésen át a kis-, közepes- és magas radioaktivitású, használt üzemanyagkazetták és hulladék kezelésén is dolgozik, amivel egyedülálló, autonóm szerepet foglal el az EU-ban és a világon. A saját urándúsítóval rendelkező Franciaország az uránbehozattal járó költségeket jóval tudja csökkenteni versenytársainál. Mindez kevesebb hulladékkal is jár, nem mellesleg óvja a környezetet, viszont a reprocessálás ma még drága technológia és nagyobb költségekkel jár a feldolgozás, mint a friss urán üzemanyag beszerzése. A MOX üzemanyag gyártásában is jártas a francia atomenergia-stratégia, amely a már említett Georges Besse II gyárban történik: csökkentett dózisu uránt egészítenek ki plutóniummal, melynek útja az alábbi ábrán látható:



¹⁰⁵ <http://npa29quimper.over-blog.fr/article-la-route-du-plutonium-117055611.html>

Jelenleg 24 reaktorban alkalmaznak MOX üzemanyagkazettákat, amely a nukleáris villamosenergia 10%-át teszi ki.¹⁰⁶

Franciaország egyik előjárója a radioaktív hulladéktárolásnak: 2019-ben az ANDRA beadta kérvényét egy földalatti radioaktív hulladéktároló létesítésére, amely közepes- és magas aktivitású nukleáris hulladék hosszútávú elhelyezésére lenne alkalmas. Mindezt több kutatás előzte meg a francia ASN nukleáris hatóság által, illetve a közvélemény alapján. A CIGEO (magyarul „geológiai tárolási iparközpont”, franciául *Centre Industriel de stockage GÉologique*) tárolótelephely építkezése 2022-ben kezdődne és 2030-ra indulna el az ipari működése Bure-ben (Kelet-Franciaország).¹⁰⁷

A francia gazdasági szektorait nézve a 2019-es adatok szerint a közlekedés használja a legtöbb villamosenergiát (32.4%), melyet a háztartások követnek 28.1%-kal. Az iparban 19.3%-ban használnak villamosáramot, a szolgáltatási szektorban mindez 16.89%. Érdekes, hogy a mezőgazdaság végez utolsó helyen (0.03%) és nem kíván akkora energetikai háttérrel, mint a többi szektor, annak ellenére, hogy Franciaország az európai mezőgazdaság egyik éllovasának számít.¹⁰⁸

Franciaország nagy előnnyel indul energiasztratégiáját tekintve: a meglévő nukleáris háttértudásnak köszönhetően szériában tud építeni olyan blokkokat, amelyeket francia mérnökök terveznek meg, tesztelnek és üzemeltetnek. Ezzel az egységkosztásokat le tudják nyomni, így hosszú távon a befektetett tőke költsége csökken. Az áram árára ezek a költségek már csak kisebb mértékben rakódnak rá, és nem olyan mértékben terhelik az áram előállítás költségeit, ezért Franciaország a jövőben is olcsón fog áramot termelni. Energiaellátását tekintve importja minimális, hiszen szinte teljesen önellátó, ellenben energia exportja jelentősen támogatja az EU többi állam energiabiztonságát.

Németország a csernobili baleset után további 4 új reaktort kapcsolt rá a német villamoshálózatra, és a fukusimai incidenskor összesen 17 reaktort termelt max. 21 523 MW-os kapacitással villamos energiát. Mindezután a német atomenergiatermelés 2023-ra teljesen megszűnni látszik: az *Energiewende* energiasztratégia bevezetése után az utolsó hat aktív reaktor egyelőre 8 113 MW-os kapacitással, 71 TWh villamos-áramot szolgáltat. 2021-

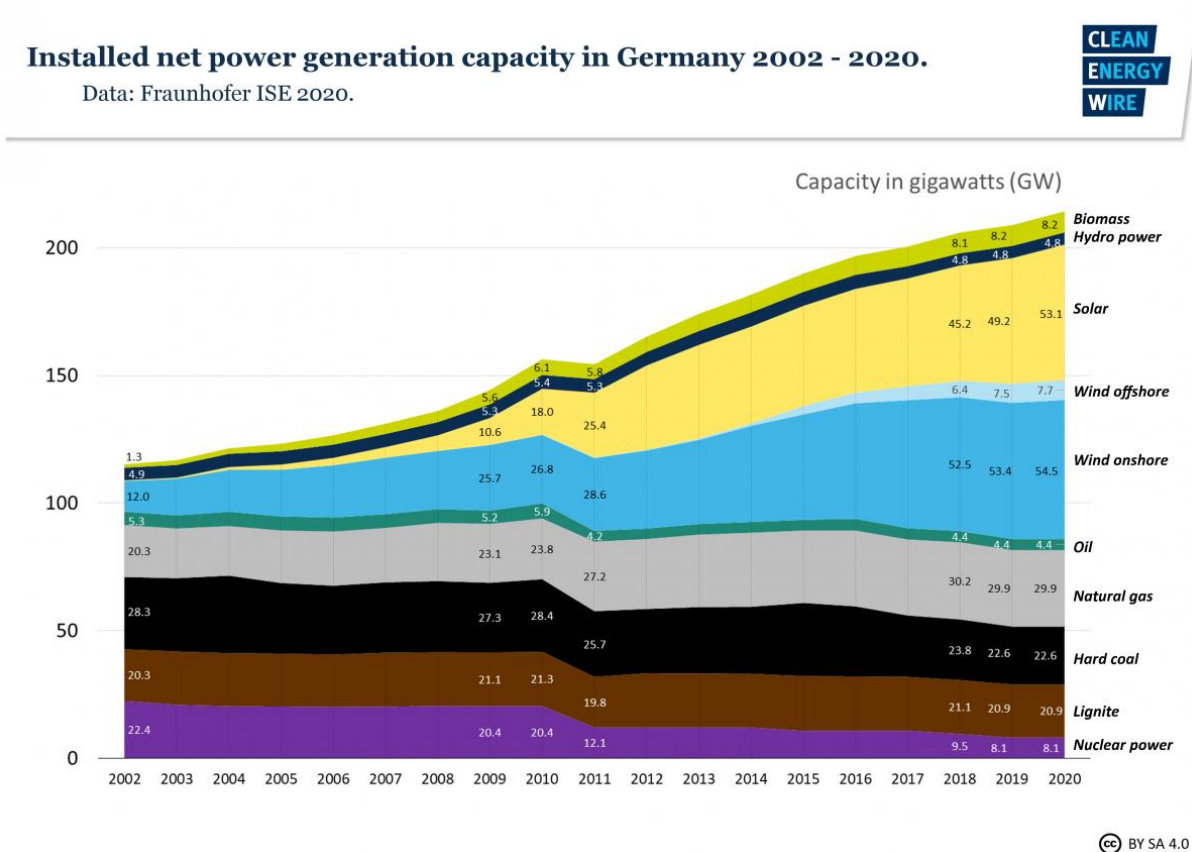
¹⁰⁶ <https://www.sfen.org/energie-nucleaire/panorama-nucleaire/nucleaire-france>

¹⁰⁷ <https://www.forumnucleaire.be/theme/dans-le-monde/france>

¹⁰⁸ Ministère de la Transition Ecologique: *DATALAB – Chiffres clés de l'énergie*, Edition 2020.

2022-ben a következő reaktorok kerülnek leállításra: Brokdorf, Emsland, Grohnde, Gundremmingen-C, Isar-2 és a Neckarswestheim-2.¹⁰⁹

Németország energiatermelése több üzemanyagfajtát is használ, jól diverzifikált energiakosárral rendelkezik: megújuló energiaforrások mellett (szél-, nap- és biomassza) fosszilis alapú tüzelőanyagokat is tud biztosítani (kőolaj, földgáz és lignitbányák). Az alábbi ábrán tökéletesen láthatjuk, hogyan oszlik meg mindennek aránya 2002-2020 periódusban:¹¹⁰



A német piacelfoglalási stratégia alapján csak az általuk elfogadott technológia elfogadott a megújuló energiában, viszont ebben a versenyben nem számítottak arra, hogy Kína olcsóbb és megbízhatóbb technológiai fejlesztéseivel jobban érvényesül az energiapiacra.^{111, 112} A jövőre nézve Németországnak meg kell tudnia oldani szén- és ligniterőműveinek leszerelését és leállítását, illetve az Oroszországból importált földgáz mennyiségét is csökkentenie kellene egy zöldebb energiastratégia megvalósításához.

¹⁰⁹ <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energie/wende/energie-erzeugen/ausstieg-aus-der-kernkraft-394280>

¹¹⁰ <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-energy-consumption-and-power-mix-charts>

¹¹¹ <https://www.portfolio.hu/global/20210214/varatlan-bejelentes-a-vilag-legnagyobb-szennyezojtol-napelemboom-es-aruhanas-lehet-az-eredmenye-469708>

¹¹² <https://magyartudat.com/energia-arak-leszoritasa-kina-lesz-a-vilag-legnagyobb-szelenergia-felhasznaloja/>

Bár a megújuló hazai innovációnak számítanak, munkahelyet teremtenek, és az energiainportot hivatottak csökkenteni, az ellátásbiztonsági követelmények és a források biztosítása komoly kihívást jelent a német energiarendszernek.

V. SZÉN-DIOXIDMENTES VILLAMOSENERGIA TERMELÉS FONTOSSÁGA ÉS LEHETŐSÉGEI

Napjaink villamos-energiájának előállítása során az egyik legnagyobb nehézség, hogy az szén-dioxidmentesen történjen. Viszont felmerül a kérdés, hogy miért?

Az üvegházhatású gázok (továbbiakban: ÜHG) az emberek és a Föld többi élőlénye számára élhetővé teszik a nyugodt életet: iható vizet, tiszta levegőt és élhető környezetet biztosítanak. Ellenben, ha az ÜHG nincsenek egyensúlyban, drasztikusan veszélyeztetik a bolygónkat. A legveszélyesebb közülük a CO₂, vagyis a szén-dioxid, amely 2019-re nem csak Európában, hanem a teljes bolygón is elért egy magas szintet. A fosszilis tüzelőanyagokból, mint pl. szén- vagy földgázérművek kibocsátásával keletkező gáz az emberek által mesterségesen létrehozott végtermék, amely energiakinyerés során szabadul fel. Az ipari forradalom kezdetekor még nem számított nagy problémának, mára és a jövő nemzedék számára viszont egy megoldandó kihívássá vált.

A szén-dioxid levegőbe kerülése Földünk természetes légkörét veszélyezteti. Mivel a levegőnél nehezebb, más ÜHG-kal ellentétben a Föld felszínéhez közel helyezkedik el, és nem képes közvetlenül az űrbe távozni. Mindez olyan jellegű klímaváltozáshoz vezet, melynek következtében a Föld hőmérséklete folytonosan növekszik. Az egyre gyakrabban és erősebben előforduló természeti csapások mennyiségének növekedése, mint az erdőtüzek, a földrengések és szökőárak is a globális hőmérséklet-növekedésnek „köszönhetők”, melyek nehezebbé, elviselhetetlenebbé és élhetetlenebbé teszik az életet.¹¹³ Éppen ezért nagyon fontos, hogy minél megfontoltabb intézkedések bevezetése mellett történjen egy olyan energiapolitikai váltás, amelyek hosszú távon hozzájárulnak környezetünk szén-dioxidcsökkenéséhez és későbbi –mentességéhez.

1997-ben Japánban, Kiotóban került sor az első legfontosabb, éghajlatváltozással kapcsolatos konferenciára, amelyet az UN Klímaváltozási Konvencióján (angolul UNFCCC, azaz *United Nations Framework Convention on Climate Change*) el is fogadtak és 2005-ös életbelépése után 169 állam ratifikált is (köztük az EU tagországaival).¹¹⁴ A konvenció

¹¹³ <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/greenhouse-gases>

¹¹⁴ <https://hugas.met.com/hu/fyouture/zold-gazdasag/kiotoi-egyezmeny-jegyzokonyv/1157>

legfontosabb céljai között szerepelt a globális felmelegedés megszüntetése és az ÜHG koncentrációjának stabilizálása.

A 2015. november 30. és december 12. között megrendezett, az UNFCCC által szervezett párizsi éghajlatváltozási konferencia¹¹⁵ volt a következő olyan állomás, ahol nemzetközi együttműködés során sikerült közös álláspontra jutnia a résztvevő államoknak. A tárgyaló kormányok megállapodtak abban, hogy a hőmérséklet-emelkedés meggátolása érdekében a jövőben max. 1.5-2 °C között kell tartani a hőmérséklet növekedését a szén-dioxid szint csökkentése mellett.¹¹⁶ Az ebből adódó egyezmény alapján a ratifikáló államok évente nyilatkoznak az UNFCCC-nek arról, hogy mennyire sikerült betartaniuk az általuk kitűzött éghajlatvédelmi célokat, illetve, hogy a továbbiakban milyen terveik vannak a szén-dioxidmentesség eléréséhez.

Az EU a fenntartható gazdasági fejlődés garantálása, illetve az állandó energiaellátás biztonsága és biztosítása mellett egy olyan „Green Deal” tervet¹¹⁷ fektetett le 2019-ben, melynek értelmében 2020-ra, 2030-ra és 2050-re különböző célértékeket kell elérni. Az alábbi táblázatban¹¹⁸ található a legfontosabbak.

Év	Célkitűzés
2020	<ul style="list-style-type: none"> • 20%-kal kell csökkenteni az ÜHG kibocsátását az 1990-es szinthez képest. • A teljes energiaszükséglet 20%-át megújuló energiaforrásokból kell fedezni. • 20%-os energiahatékonysági javulást kell elérni.
2030	<ul style="list-style-type: none"> • 40%-kal kell csökkenteni az ÜHG kibocsátását. • 27%-ra kell növelni a megújuló energiaforrások részarányát. • 27-30 %-kal kell javítani az energiahatékonyságot. • Össze kell kapcsolni az európai államok villamosenergia hálózatait annak érdekében, hogy az így megtermelt elektromos áram 15%-át más tagállamba is át lehessen szállítani.
2050	<ul style="list-style-type: none"> • 80-95 %-kal kell csökkenteni az ÜHG kibocsátását, illetve annak teljes mentességét elérni. • Az új és régi épületek energiahatékonyságát növelni kell. • Több megújuló, zöld energiaforrásokból származó erőmű építését kell megvalósítani, amely lehet nap- és vízenergia, biomassza, vagy más, alacsony szén-dioxid kibocsátás alapú. • A fosszilis tüzelőanyagok használatához a szén-dioxid elkülönítésére és tárolására alkalmas technológiával felszerelt rendszert kell alkalmazni az erőművekben.

¹¹⁵ <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/climate-change/paris-agreement/>

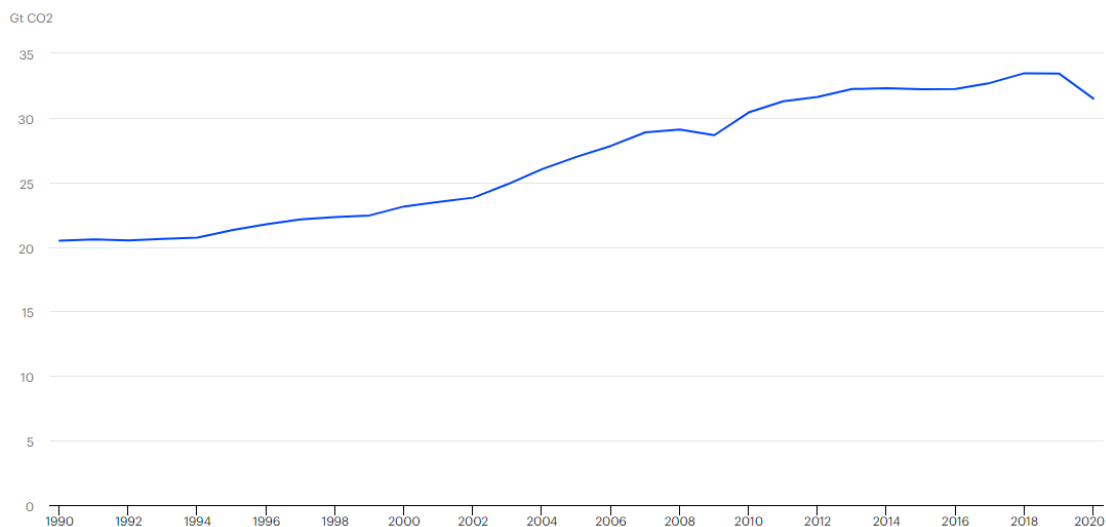
¹¹⁶ International Energy Agency: *World Energy Outlook 2017*, 134. o.

¹¹⁷ https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

¹¹⁸ <https://www.meevet.hu/hir/az-eu-energiapolitikai-celkituzesei>

Az említett célok eléréséhez szükséges az, hogy környezetbarát energiatermelési alternatívákhoz folyamodjunk, amely tiszta, olcsó és az emberek egészsége számára veszélytelen villamos áramot termel. Ahhoz, hogy hosszútávon sikeres eredményt érjünk el, a 2020-as évtizedben évente kellene 7.6%-os ÜHG csökkenést produkálni annak érdekében, hogy a hőmérséklet-növekedés az évszázad végére csak 1.5 °C legyen.¹¹⁹

A Covid-19 koronavírusjárvány 2020-ra nézve sok mindenben megváltoztatta az energia-kibocsátást: a fosszilis üzemanyag-használat csökkent – a kőolaj használata 8.6%-kal, a szén 4%-kal. Mindehhez a szárazföldi közlekedés és szállítás 50%-kal, illetve a légi közlekedés 35%-kal történő csökkenése nagyban hozzájárult. A szén-dioxidkibocsátás globális szinten 5.8%-kal, 2 000 millió tonnával esett, ami éves szinten a II. világháború óta az eddigi legnagyobb csökkenés, és pontosan egy Európai Uniónyi éves szintnek felel meg. A megújuló, zöld energiaforrások – leginkább nap- és szélenergia formájában – 20%-os növekedéssel termelt villamosenergiát.¹²⁰ Mindez szép eredmény, viszont az alábbi táblázat továbbra is azt mutatja, hogy míg az 1990-es években 20.5 milliárd tonna körüli volt a CO₂ kibocsátás, maga a koronavírus sem volt képes hosszú távon azt 31.5 Gt alá csökkenteni:



15. ábra: Energiával kapcsolatos CO₂ kibocsátás a Földön, 1990-2020 között¹²¹

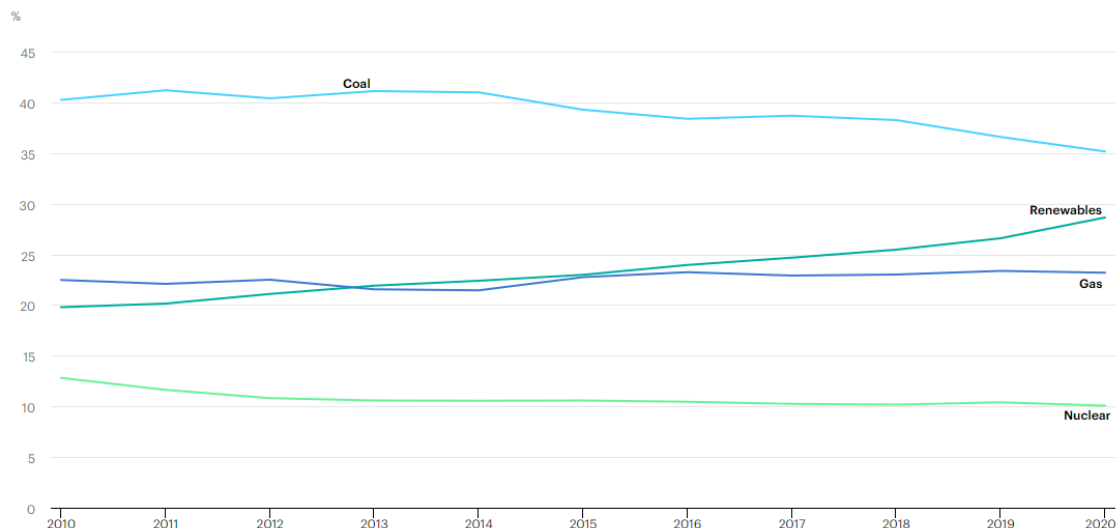
A koronavírus miatt bevezetett korlátozások feloldásával viszont a javulási tendencia romolhat, hiszen a közlekedés és az újból üzembe álló erőművek miatt a CO₂ kibocsátás nőhet. 2020 végére, decemberben már 2 %-os növekedést mértek.¹²²

¹¹⁹ <https://www.un.org/en/climatechange/science/key-findings>

¹²⁰ <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>

¹²¹ <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-1990-2020>

Bár napjainkban egyre nagyobb szerepet töltenek be a megújuló zöld energiák, a világ energiatermelésének 35%-a továbbra is a szénen alapszik, melyet csak 29%-kal követnek a megújulók, 23%-kal a földgáz és 10%-kal pedig a nukleáris energiatermelők.¹²³ Éppen ezért kifejezetten fontos a szén és földgáz alapú energiatermelés visszaszorítása.



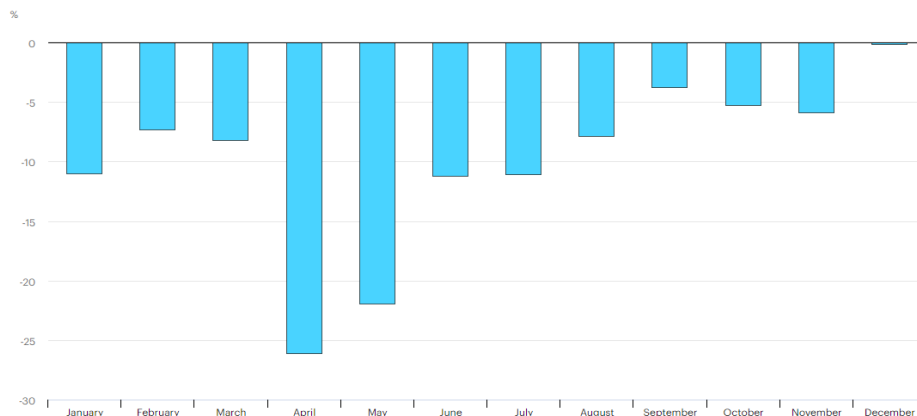
16. ábra: Villamosenergia-termelés összetétele a világon, 2010-2020 között

Az EU-ban a koronavírusjárvány miatt több államban szigorú kijárási korlátozásokat vezettek be, melyek következtében az otthon maradó európai állampolgárok CO₂ kibocsátása 10%-kal csökkent a 2019-es adatokhoz képest. A megújuló energiatermelése 8%-kal növekedett, a széntüzelésű energiatermelés pedig több mint 20%-kal csökkent. Ennek eredményeképp a megújuló energiatermelési részesedése elérte a 39%-ot 2020-ban, amely négy százalékpontos növekedés 2019-hez képest. A közlekedésben használt olaj üzemanyagkereslete 12%-kal csökkent. Németországban az energiatermeléshez köthető CO₂ kibocsátás megközelíthetőleg 9%-kal esett 2020-ban, hiszen az ország alacsony energiakeresleti igénye miatt a széntüzelésű erőműveinek termelése 20%-kal csökkent, és több villamosáramot termelt szél- és naperőműveivel. Franciaországban 11%-kal csökkent az éves szén-dioxidkibocsátás 2019-hez képest, a közlekedésben szinte majdnem 20 Mt-val esett.¹²⁴

¹²² <https://www.theguardian.com/environment/2021/mar/02/fossil-fuel-emissions-in-danger-of-surpassing-pre-covid-levels>

¹²³ <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electricity-generation-mix-2010-2020>

¹²⁴ <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>



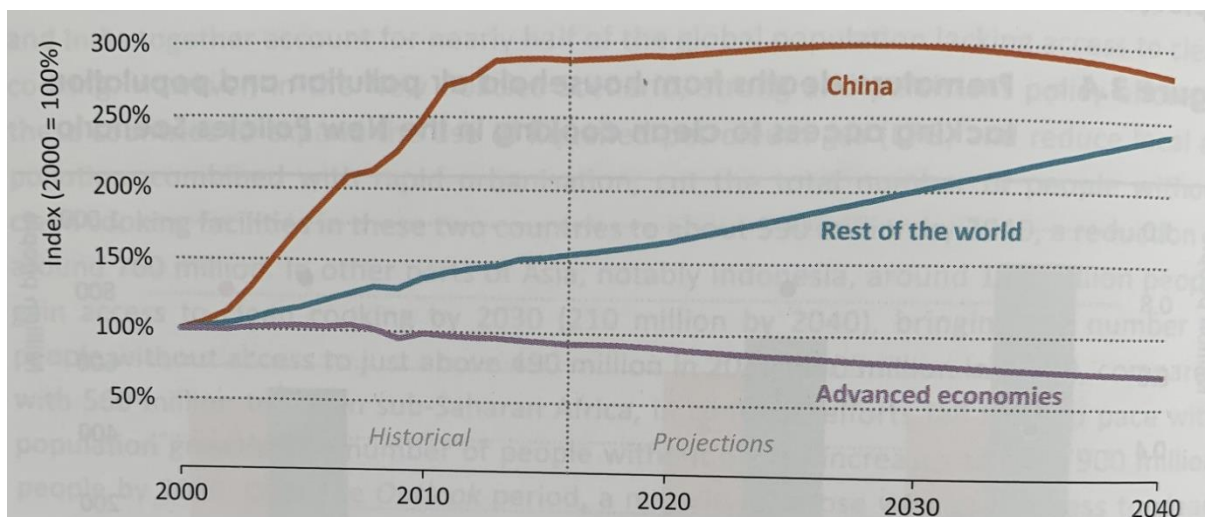
17. ábra: Az Európai Unió 2020-as CO₂ kibocsátásának havi változása a 2019-es adatokhoz képest¹²⁵

A párizsi egyezmény célkitűzései megvalósítása érdekében több állam olyan innovatív ötletekkel álltak elő, mint pl. a benzin- és dízelmotoros gépjárművek teljes betiltása. Franciaország mindezt 2040-re vezetné be amellett, hogy 2023-ra teljesen karbonmentesen kívánna kitermelni villamosenergiáját, ezáltal teljesen megszüntetve széntüzelésű energiaforrásait.¹²⁶

Az IEA 2017-ben megjelent energiaügyi kilátásairól szóló kiadványa külön figyelmet szentel a CO₂ kibocsátásnak, melynek növekedése országonként és régióként változik, illetve annak lassulása vagy csökkenése más országokban növekedéshez vezethet. Az ügynökség STEPS lépései szerint Kínában kell leginkább a szén-dioxidcsökkenést elősegítő lépéseket hozni ahhoz, hogy 2050-re a párizsi egyezményben foglalt célértékek teljesíthetőek legyenek. Az alábbi ábra szerint Kína CO₂ kibocsátása több évtizedig változatlan marad, és a 2025-2032 periódusban fogja elérni csúcát. 2040-re Kína mintegy 280%-kal a legnagyobb CO₂ kibocsátó lesz az egész Földön. A fejlett gazdaságoknál kisebb lépésekben, de csökkenés várható a szén-dioxidkibocsátást illetően és 2040-re közel 75% körüli értéket érhetnek el. Mindez viszont sokkal nem járul hozzá a kibocsátási probléma megoldásához, hiszen a világ többi országaiban Kínához hasonlóan a CO₂ kibocsátásának növekedése várható, bár nem olyan sebességben, mint ahogy Kínánál láthatjuk. 2040-re ez a csoport lassan megközelíti a 250%-ot:

¹²⁵ <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/monthly-change-in-co2-emissions-in-the-european-union-in-2020-relative-to-2019>

¹²⁶ International Energy Agency: *World Energy Outlook 2017*, 46. o.

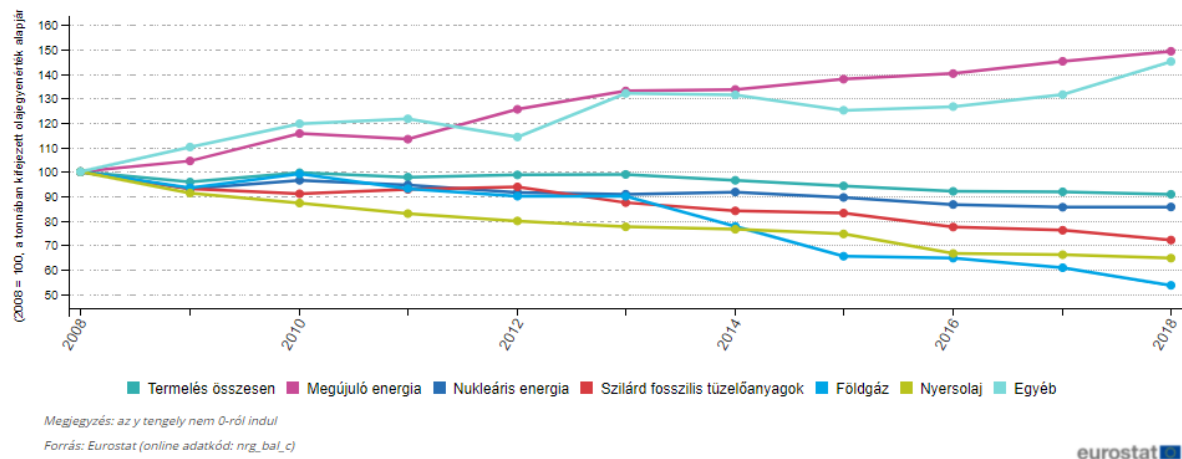


18. ábra: Előrejelzés a szén-dioxidkibocsátás három növekedési sebességéről a STEPS szerint¹²⁷

Az EU tüzelőanyag használatát tekintve 2008-2018 között hozzájárult a CO₂ kibocsátás csökkenéséhez, hiszen 2018-ra az energiatermelők közül a megújuló energiák 149.2 tonna olajegyenértéket (*toe*) tudtak helyettesíteni, míg a nukleáris energia a második helyen 85.5 toe-vel, ezzel csak a harmadik helyre szorítva a szilárd fosszilis tüzelőanyagokat 76.1 toe-vel és a negyedikek pedig a földgázt 53.6 toe-vel:

49

A primerenergia-termelés alakulása tüzelőanyag-típus szerint, EU-27, 2008–2018



128

2020-ban a szén energiatermelésre használt üzemanyagként 20%-kal, 2015 óta pedig 50%-kal esett az EU tagállamaiban. A koronavírusnak és a megújuló energiatermelők – legfőképp szél- és naperőműveknek - köszönhetően a villamos áram iránti igény 4%-kal csökkent. Hogy ez a csökkenő tendencia 2021-ben is fennmaradhasson, további szél- és naperőművek létesítése szükséges, hiszen a koronavírus végeztével az villamos áram iránti

¹²⁷ International Energy Agency: *World Energy Outlook 2017*, 118. o.

¹²⁸ https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_production_and_imports/hu

igány ismét nőni fog 2021-ben. Németországban 22%-os csökkenést láthatunk a széntüzelésű erőművek használatában 2020-ban a 2019-es adatokhoz viszonyítva: míg 2019-ben 172 TWh, 2020-ban már csak 134 TWh teljesítményt produkáltak a német szénterőművek.¹²⁹ A földgáz használat csak 4%-kal esett 2020-ban, melyre csak csekély hatást fejtett ki a Covid-19 pandémia. Nem utolsó sorban pedig a nukleáris energiatermelés 10%-ot esett 2020-ban, ami eddig az egyik legnagyobb csökkenést mutatja az EU tagországaiban. A legnagyobb zuhanást ebben az esetben bár Svédország produkálta 25%-kal, viszont a leglátványosabban Franciaországban történt teljesítménycsökkenés: míg 2019-ben 399 TWh, addig 2020-ban 355 TWh teljesítményt adtak le a francia atomerőművek, ezzel egy 11%-os csökkenést produkálva. Bár Németországban egy nagyobb, 14%-os esés történt, a 9 TWh különbség elenyészőnek mondható a francia 44 TWh teljesítményhiány mellett.¹³⁰

Mindez azt jelenti, hogy az EU 29%-kal több tiszta energiát termelt 2020-ban a 2015-ös adatokhoz hasonlítva. A levegő szén-dioxid tartalma a 2015-ben mért 317 gramm CO₂/kWh adatról 226 grammra csökkent 2020-ban. Bár siker könyvelhető el abban, hogy a szén üzemanyaghasználat csökkent, annak 43%-os energiatermelésben jelentős csökkenését elsősorban földgázzal váltották ki, ami továbbra is lassítja a szén-dioxidmentességhez vezető utat az EU tagországaiban.¹³¹

Az EU-ban a nukleáris, illetve a megújulók közül a szél- és naperőműveket értjük az alacsony szén-dioxidkibocsátású energiatermelőknek:

Az atomenergia termelése szinte teljesen szén-dioxidmentesen történik, a környezetre alig van hatással. Élettartama során a szélerőműhöz hasonló, nagyon minimális 12 gramm CO₂ bocsájt ki kWh-ként. A naperőművek 48 gramm CO₂/kWh teljesítménye szintén kevés szén-dioxidot termel.¹³² Franciaország az atomenergia-stratégiájának köszönhetően a legalacsonyabb szénkibocsátású országok sorát vezeti: 5.5 tonna szén-dioxidot bocsát ki egy lakosra évente, ami nem csak hogy az EU-s adatok átlagánál (7.4 tonna CO₂/lakos/év) alacsonyabb, hanem még Németország egy lakosra eső éves kibocsátásának a felét (NEA, 2012.)¹³³.

¹²⁹ Agora-Ember Energiewende: *The European Power Sector in 2020: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition*, 2021., 13. o.

¹³⁰ Agora-Ember Energiewende: *The European Power Sector in 2020: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition*, 2021., 14. o.

¹³¹ Agora-Ember Energiewende: *The European Power Sector in 2020: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition*, 2021., 5. o.

¹³² <https://world-nuclear.org/nuclear-essentials/how-can-nuclear-combat-climate-change.aspx>

¹³³ <https://www.sfen.org/energie-nucleaire/panorama-nucleaire/nucleaire-france>

VI. ELLÁTÁSBIZTONSÁG KÖVETELMÉNYE ÉS AZ ÁLLAMI FELELŐSSÉG KÉRDÉSE

Egy állam energiastratégiájának meghatározása nem egyszerű feladat, mivel több szempontnak meg kell felelni és a jelenlegi energetikai problémákra is megoldást kell találnia. Annyi energiát kell tudni előteremteni, amely a természetet a legkevésbé terheli és megőrzi a jövőbeni élethez szükséges forrásokat, mint a mezőgazdasághoz szükséges termőföldeket, az ivóvízkészleteket vagy a természeti értékeket. Mindez az alábbi pillérekre alapszik:



20. ábra: Az Energiastratégia pillérei¹³⁴

A gazdaság élénkítésében az ellátásbiztonság ugyanolyan jelentőséggel járul hozzá a versenyképességhez, mint a fenntartható fejlődéshez.

Az ellátásbiztonság azt jelenti, hogy a villamosenergia-szolgáltatást a fogyasztók számára zavartalanul, kimaradás nélkül biztosítják. Mivel jelenleg magát az áramot ipari méretekben tárolni még nem lehetséges (bár energiatárolók fejlesztése már tervben van), ezért nagyon nehéz pontosan tervezni, mekkora kereslet és kínálat van éppen jelen a piacon, hiszen ha a termelés több mint a fogyasztás, ugyanolyan problémának számít, mintha fordítva történne. Ezért mindig, az év minden napján és percében szükséges az áramellátás folyamatos biztosítása, és az erőművek elegendő áramtermelése. Úgy tűnik, hogy a két alapvető feltétel, amelyek a folyamatos áramtermelés és a kereslet és kínálat egyenlő szinten tartása nem is akkora kihívás a piacon, mégsem ez a helyzet a jelenlegi Európában.

¹³⁴ Nemzeti Fejlesztési Minisztérium: *Nemzeti Energiastratégia 2030*, 2012., 42. o.

Az utóbbi években újfajta, zöld erőművek (napkollektorok és szélerőművek) egyre jobban kezdték el befolyásolni a folyamatos villamosenergia-ellátást, mivel nem csak, hogy az államok által támogatottak, hanem nagy részben időjárás függőek, ezért nagy hatással vannak az áramtermelésre. Ezek működtetését, termelését a rendszer irányítója nem tudja úgy szabályozni, mint egy atomerőművét, ahol a villamosenergia-termelés folyamatos. Éppen ezért, hogy az áramhiány ne következzen be, a zöld erőműveket valamilyen szabályozható módon be kell tudni építeni a már meglévő villamosenergia rendszerbe. Figyelembe kell még venni, milyen más villamos áram termelő egységgel rendelkezik még egy ország, a fogyasztók fogyasztási szokásait, az infrastrukturális adottságokat, a tervezett leállásokat (pl. erőművek tervezett karbantartásai) és a váratlan üzemzavarokat vagy kieséseket. Nem is beszélve arról, hogy a szolgáltatott áramnak olcsónak és folyamatosan rendelkezésre állónak kell lennie, illetve az áram előállításához szükséges energiahordozó anyagból elegendő forrásnak kell rendelkezésre állnia (pl. szél, nap, víz, földgáz, nukleáris fűtőanyag stb.).

Annak érdekében, hogy az áramtöbbletet vagy hiányt jobban lehessen szabályozni és mérni, „szigorúan szabályozott, alapvetően központosított rendszerek jöttek létre, ahol az egyes szereplőknek (termelők, rendszerirányítók, elosztók, áramszolgáltatók, kereskedők stb.) részletesen meghatározott jogaik és kötelelességeik vannak”¹³⁵. Ma már nem csak egy erőmű lehet áramszolgáltató, hanem ha a fogyasztó is rendelkezik saját napkollektorával a házán vagy akár egy szélerőművel, akkor ő is termelővé válik. A fogyasztók lakhelye és a földrajzilag távolabb megépült erőművek így bár összehangolhatják termelésüket, és egymás áramszolgáltatását támogatva rugalmasabbá tudják tenni, az jelenti az újabb problémát, hogy decentralizálódik az iparág, ami továbbra sem oldja meg a kereslet-kínálati egyensúly folyamatos biztosítását egy nagyobb térségben. Mindezzel csak annyi a probléma, hogy a természet által biztosított energiaforrások nem mindig elérhetőek, vagyis ha nem fúj a szél, vagy éppen nem süt a nap, a megújuló energiatermelés nem biztosítható.

Továbbra is nyitott kérdés, vajon mennyi nap- és szélerőmű illeszthető be a villamosenergia-rendszerbe úgy, hogy az ellátásbiztonság továbbra is fennmaradjon, és az áram ára se emelkedjen túl magasra. Mivel Európában a villamosenergia-iparba kevés tőke kerül befektetésre a már meglévő, előregedett erőműpark felújításához, pótlásához és az új erőművek rendszerbe történő beintegrálásához, magának az államnak kell megoldania a jövőbeli beruházások finanszírozását.

¹³⁵ Magyar Atlanti Tanács: *Magyarország Energiabiztonsága*, Zrínyi kiadó, 2020., 20. o.

Természetesen az energia kiesés pótlására van lehetőség azáltal, hogy áramot importálunk más országból, amely kedvező lehet egyes államok számára, és komoly versenyhelyzeti előnyt is adhat. Viszont mindezzel azért kell vigyázni, mert az importtól túlságosan függő országok saját energiakapacitásának leépüléséhez vezethet. Jól sejthetjük, hogy krízishelyzetben minden ország elsősorban saját energiaellátására és ellátásbiztonságára koncentrál, ezért nem biztos, hogy mindig lehet az importált energiára számítani. Éppen ezért kell egy olyan belföldi erőműállományt is kialakítani, amely bármilyen hálózati üzemzavar esetén megállná a helyét.

„Az öt legfontosabb áramexportáló EU-tagállam (Németország, Franciaország, Svédország, Csehország és Norvégia) együtt a teljes exportált árammennyiség 75%-át adja. Ezen belül a két meghatározó ország, Franciaország és Németország biztosítja az export több mint 53%-át.¹³⁶” Biztos tény tehát, ha a francia vagy német energiaszolgáltatásban valahol probléma adódik, akkor azt a többi európai állam is meg fogja érezni. A francia export javarészt az olasz és brit importra fókuszál, de a spanyol és német megújuló energiaforrások kiegyenlítésében is jelentős szerepet vállal. Míg Németország valamennyi többlettermelését exportálja, aggodalomra ad okot, hogy a 2020-as Reuters felmérések alapján mindez 18.9 TWh tett ki, ami 46.2%-os csökkenés az előző évhez képest¹³⁷. Mindez arra világít rá, hogy Németország hiába tölt be gazdasági vezető szerepet az EU-ban, ha az energiatermelés és annak ellátásbiztonsága nem nyugszik biztos alapokon, mivel egyre jobban fog függeni a szomszédos országok importjától, ami 2020-ban 38.8%-kal növekedett 33.6 TWh-ra (2019-ben ez az adat 24.2 TWh volt).

További fontos tényező, hogy a dolgozatomban már említett, párizsi egyezményen elhangzott legfontosabb környezetvédelmi pontot, az ÜHG csökkentését teljesíteni kell, ami Németországra nem jellemző. A CO₂-kvótaára drasztikusan növekedhet, ha a máig jelentős szén- és lignittüzelésű erőműveit továbbra is üzemeltetni fogja, bár energiastratégiája szerint 2038-ra fokozatosan ki fogja iktatni azokat. Franciaország a természet- és klímavédelem érdekében teljesen szénmentes energiastratégiát követ, így a szén kvótaára 2016-ban még 22 €/tCO₂ volt, 2021-re már 50€/tCO₂ fölé növekedett és 2030-ra pedig akár 80-100 €/tCO₂ kell majd fizetni. Fontos megjegyezni, hogy az EU Kibocsátáskereskedelmi Rendszere (angolul *Emissions Trading System*, röviden *ETS*) a fosszilis üzemanyag használatára kivetett kvótaárát

¹³⁶ Magyar Atlanti Tanács: Magyarország Energiabiztonsága, 2020, Zrínyi kiadó, 32. o.

¹³⁷ <https://www.reuters.com/article/germany-electricity-statistics-idUSL8N2JF16X>

központilag nem szabályozza, de a kvótamennyiség szabályozásával a CO₂ árat befolyásolja, és az érdeke ennek magasán tartása.¹³⁸

Európában további ellátási problémákat okozhat a szélsőséges időjárás: Franciaországban például 2012 telén eddig nem látott villamosenergia-kereslet volt, emiatt több helyen áramkimaradásokra kellett számítani, mivel a francia rendszer nem volt képes a fogyasztói igények kielégítésére. Mivel Franciaországban a fosszilis tüzelőanyagok használatát mellőzik és 2023-ra annak teljes kiiktatását tervezik¹³⁹, elektromos árammal történik több háztartás hőenergia-ellátása is, ami még nagyobb energiaszükségletet kíván.

Ahhoz, hogy egy fejlett, biztos energiaellátás fennmaradjon Európában, hálózatfejlesztésre is nagy szükség van: mi sem bizonyítja ezt jobban, hogy Nyugat-Európában a hálózat többszörösen áthurkolt, míg a közép-kelet-európai országokban és a balkán régióban szinte „egy hálózati kapcsolaton múlik egy egész régió ellátásának sorsa”¹⁴⁰.

Németország a hat megmaradt atomreaktorából hármat 2021 végéig be fog zárni a maradék hármat pedig 2022-ben. Franciaország viszont a 2007-es év vége óta építi az újgenerációs 1600 MW-on termelő reaktorát Flamanville-ben¹⁴¹. Németország számára további kihívás lesz még, hogy offshore áramtermelését országon belül tudja továbbítani, az ezt könnyítő távvezetékrendszer kiépítése még zajlik, és nagyon lassú léptekben halad.

Napjaink egyre nagyobb kihívásává tehát az áramkimaradások elkerülése lesz, amit az egyre növekvő importigényekkel pótolni kell – mindez nem egyszerű feladat. 2006-ban például Németország északi részén meghibásodott az elektromos hálózat, ami Európa-szerte áramszüneteket produkált. A francia EDF segítette ki a németeket, viszont emiatt Franciaországban is több helyen elment az áram (a lakosság 10%-a maradt áram nélkül). Nem mellesleg Olaszországban is akadozott a szolgáltatás¹⁴². A fokozatosan erősödő téli hóviharak pedig az áramellátást akadályozzák (a fák ráeshetnek a vezetékekre): a 2019-es év eleji hózivatar Németország déli részén és Ausztriában is sok gondot okozott, Salzburgban 900 háztartás maradt áram nélkül.¹⁴³

„A német politikusok inkább az energiaszektor beruházási politikáját kárhoztatták, sürgetve a hálózatok felújításának és bővítésének megoldását.”¹⁴⁴ Mindezzel az energiapolitikai vonallal csak annyi a probléma, ha Németország atomerőműveinek teljes

¹³⁸ International Energy Agency: World Energy Outlook 2017, 113. o.

¹³⁹ International Energy Agency: World Energy Outlook 2017, 46. o.

¹⁴⁰ Magyar Atlanti Tanács: Magyarország Energiabiztonsága, 2020, Zrínyi kiadó, 34. o.

¹⁴¹ <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=873>

¹⁴² <https://www.origo.hu/nagyvilag/20061105aramkimaradasok.html>

¹⁴³ <https://444.hu/2019/01/10/hovihar-autopalyalezaras-aramkimaradasok-ausztriaban-es-nemetorszagban>

¹⁴⁴ https://www.energiainfo.hu/ez_volt_a_nagy_europai_aramszunet_vagy_csak_az_eloszele-8465/

kivonása után nem találja meg energiaellátásának kulcsát – ami feltehetőleg nem a zöld energia lesz, hiszen Kína ezen a téren már előrébb jár, és olcsóbban szolgáltatja hozzá az áramot -, vezető piaci szerepét akár el is vesztheti.

Franciaországban egyre gyakoribb jelenség az áramkimaradás: 2016-ban az akkori Manuel Valls-kormány (az akkor már népszerűtlenné vált François Hollande államelnök vezetésével) üzemanyag-korlátozásaival kapcsolatos sztrájkok miatt az áramtermelő szektorban dolgozók is csatlakoztak a sztrájkolókhoz. Ekkor Nantes és Marseille városokban lehetett számítani áramszünetekre¹⁴⁵. 2021. január 8-án pedig nem sok múlott azon, hogy teljes Európa áram nélkül maradjon: „*Franciaországban frekvenciacsökkenés hatására aktiválódott a kikapcsolási terv*”¹⁴⁶, ami a dél-európai térséget teljesen lekapcsolta, Szerbiában, Horvátországban és Romániában pedig közel másfél órán keresztül áramkimaradást okozott. Az osztrák Wien Energie áramszolgáltató mindezzel kapcsolatban azt nyilatkozta, hogy az évi 15 vészhelyzeti beavatkozások száma az elmúlt években már több ezerre emelkedett¹⁴⁷. Jelenleg az áramellátásnak folyamatosan 50 Hz hálózati frekvencián kell mozognia, aminek változása a legutóbbi esetben csak 14 másodpercig (!) ilyen drasztikus következményeket vont maga után.

Újabb lehetséges nukleáris üzemanyag lehetne a már említett tórium, melyet az urán közeli helyettesítőjének is tekinthetünk: bár a termikus reaktorokban a tórium közvetlenül nem használható fel üzemanyagként, viszont neutronbefogással, közvetve U_{233} uránná képes alakulni. Ez már termikus reaktorban is hasadásra képes, melynek során az U_{235} hasadása során felszabaduló energiához hasonló mennyiségű energia szabadul fel (≈ 200 MeV).

A hasadóanyagá váló történő átalakuláshoz neutronra van szükség, ennek forrása lehet U_{233} , U_{235} vagy Pu_{239} . A tórium alapú üzemanyagok különlegessége, hogy általuk lehetővé válhat, hogy termikus tartományban lévő neutronokkal (vagyis termikus reaktorokban) hasadóanyagot, U_{233} izotópot termeljünk, sőt az is, hogy tenyésztést érjünk el, vagyis, hogy több hasadóanyag termelődjön, mint amennyi a reaktorban elfogy.

Tóriumtartalmú üzemanyag (az ún. Th-Add) kutatóreaktorban történő, kutatási célú alkalmazását Norvégiában a Halden kísérleti reaktorban kezdték meg 2013-ban. 2018 óta már 3 alkalommal használtak Tórium-MOX üzemanyagot is, a kutatások e téren tovább

¹⁴⁵ <https://infostart.hu/tudositoink/2016/05/25/aramkimaradasok-vannak-a-sztrajk-miatt-franciaorszagban>

¹⁴⁶ <https://magyarnemzet.hu/gazdasag/kis-hijan-teljesen-elsotetult-europa-9255062/>

¹⁴⁷ <https://korkep.sk/cikkek/mindennapjaink/2021/01/11/penteken-egy-hajszalra-voltunk-az-europa-szintu-massziv-aramkimaradastol/>

folytatódnak. A kutatók jelenleg a hatóság jóváhagyására várnak ahhoz, hogy a Th-Add üzemanyag kereskedelmi célú felhasználása is megvalósulhasson.

A Földön a 80\$/kg alatti költség mellett kitermelhető 2 millió tonna uránnal szemben jóval nagyobb mennyiségű, 6.2 millió tonna tórium áll rendelkezésre. India rendkívül jelentős tóriumkészlettel rendelkezik (kb. 800 000 tonna földtani vagy). Kísérletek folynak nehézvízes szaporító reaktorban tóriumtartalmú üzemanyag alkalmazására, sőt, a technológia fejlesztése láthatóan jól halad: a demonstrációs reaktor üzembe helyezése 2021 végére várható. Ahogy már említettem, 2019 óta viszont az indiai 500 MW-os tórium cikluson alapuló erőmű üzembehelyezése továbbra is várat magára.

Amennyiben a technológia fejlődésével a termikus reaktorokban tórium alapú üzemanyag felhasználása is költséghatékonyá és elterjedté válik, még akár évszázadokig is elegendő lehet az üzemanyag az atomerőművek üzemeltetéséhez, ezáltal helyettesítve az uránt.

VII. VÉGGÖVETKEZTETÉS

Németország piacvezető szerepe sokban köszönhető a nukleáris atomenergiának, viszont annak teljes kivonásával nagy rizikót vállal abban, hogy energiaellátását saját magának megoldja és a kieső energiát pótolni tudja. A leginkább megújuló, „zöld” energiaforrásokra támaszkodó energiapolitika abban a helyzetben lehet csak kifizetődő, ha mihamarabb ugyanannyi áramot tud kitermelni, mint a nukleáris energia. A megújulók működtetéséhez szükséges természeti adottságok viszont sok esetben nem kedvezőek, hiszen azok gyakoriságát és erősségét, hogy minél több áram termelődjön, emberileg befolyásolni lehetetlenség. Ennek következményeit már most is érezhetjük, hiszen már több, akár a teljes európai kontinensre kiterjedő áramkimaradást észlelhattünk. Ez a probléma egy jövőbeli egyenetlen energiaszolgáltatáshoz vezethet, amit nem csak Németország, sem Franciaország, sem a teljes Európa nem engedhet meg magának. Ezáltal nem csak a fogyasztók otthonai, hanem több ipari egység és az egészségügyi létesítmények energiaellátása is veszélyeztetve van, amelyek egy ország gazdaságához és piaci versenyképességéhez nagyban hozzájárulnak.

A mai Németország egyelőre importorientált energiapolitikát követ (bár az EU egyik legjelentősebb áramexportálója), amelyben nem csak Franciaországban, hanem Oroszországban is jó partnerre lelt, mely utóbbi földgázon alapuló szolgáltatásai sokban befolyásolják az EU piacát. Mindemellett még Kína is nagy versenytársnak bizonyul Németország számára, hiszen saját tervezésű szélerőművei sokkal olcsóbbnak és megbízhatóbbnak tűnnek, mint a német prototípusok. A német energiatermelés fontos részét képezik a széntüzelésű erőművek, viszont azok folyamatos bezárásával a párizsi egyezmény célkitűzéseit kívánja teljesíteni, csökkentve a szén-dioxid kibocsátást. Vajon mindezzel a német energiapolitika stabilan meg fog tudni küzdeni a jövőben?

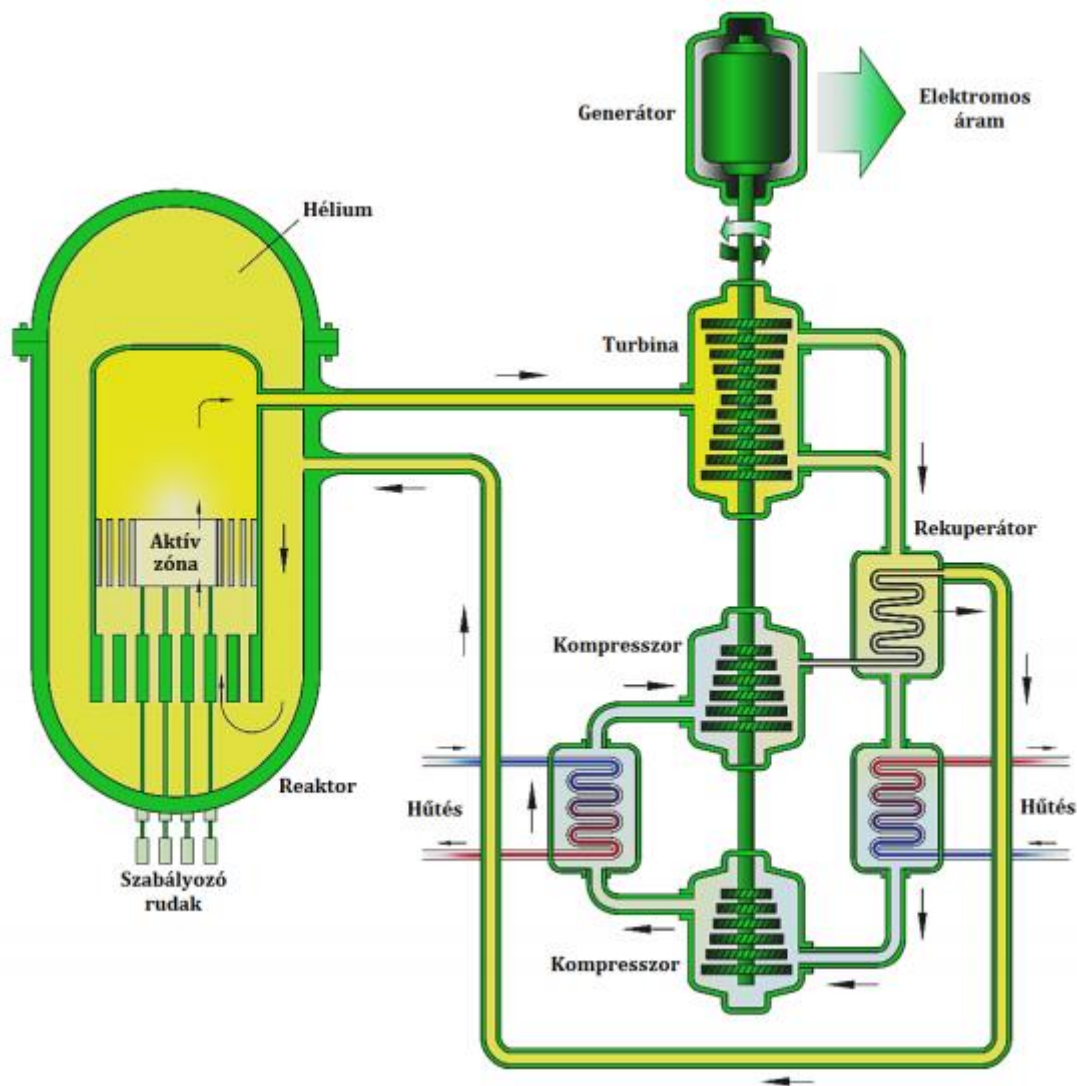
Ahogy már láthattuk a francia atomenergia-történelem során, Franciaország a radioaktivitás felfedezésétől kezdve fontos energiaforrásnak tartotta az atomenergiát, amelyet előnyére tudott fordítani és egy új áramtermelési alternatívát épített ki. Ennek segítségével egy saját önálló, független piacot alakított ki, és elérte az ország teljes szénmentességét. Mindezt napjainkig sikeresen teljesíti és folytonos technológiai fejlesztéseivel, kutatásaival korunk egyik legnagyobb nukleáris energiahatalmává nőtte ki magát. Továbbra is stabilan látja el árammal nem csak saját, de Európa többi országait is és a német helyzet még jobban kedvez energia-exportjának. Viszont sokakat meglepetésként ért, amikor a francia kormány bejelentette, hogy több atomerőműjének üzemidő-hosszabbítása helyett azok bezárásával 50%-ra kívánja csökkenteni a nukleáris alapon történő energiatermelés részarányát 2035-re és

a fennmaradó hiányt zöld energiák bevonásával pótolná. Lehetséges, hogy Franciaország a távoli jövőre nézve ugyanazt az utat fogja követni, mint Németország, vagy az atomenergia és zöld energia együttesével fog elérni újabb, még modernebb fejlődést?

Az Európai Unióban azzal, hogy az angolok kiléptek, maradt két nagyhatalom: Franciaország és Németország. Nagy a valószínűsége annak, hogy egy harmadik államot, mint Lengyelország, nem fognak beengedni az európai energiastratégia megváltoztatásába, ezért az európai energiaellátás kétpólusú marad. Ebből ered az, hogy az összes tagállam saját energiastratégiáját nem fogja tudni képviselni, és leginkább kétfajta úton szolgáltathatnak áramot, vagyis marad a német zöld, és a francia, történelmileg is megalapozott nukleáris energiapolitika. Európa sorsa nagyban függ most a francia-német duó együttműködésétől és mondhatjuk, hogy Németország bizonytalan energiatermelési stratégiájával zsákutcába terelheti Európát.

Az EU egésze számára viszont egyáltalán nem közömbös, hogy a német-francia tandem milyen irányt szab az áramtermelő portfóliója számára, hogy egyszerre legyen képes biztosítani az áramellátás biztonságát, megfeleljen a nemzetközi szerződésekben megfogalmazott klímavédelmi célkitűzéseknek és, hogy a nemzetközi szinten képes legyen a versenyképességét a négy-pólusú világban megőrizni.

VIII. MELLÉKLETEK – ÁBRÁK, TÁBLÁZATOK



5. ábra: A gázhűtésű gyorsreaktor vázlata

Forrás: Radnóti Katalin, Király Márton: Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük, Nukleon, 2015

1. táblázat: Franciaország atomreaktorai

<i>Reaktor neve</i>	<i>Reaktor-típus</i>	<i>Státusz</i>	<i>Helyszín</i>	<i>Beépített teljesítő-képesség (MW)</i>
BELLEVILLE-1-2	PWR	Aktív	LERE	1310 x2
BLAYAIS-1-4	PWR	Aktív	BRAUD ST.LOUIS	910 x4
BUGEY-1	GCR	Bezárva	ST.VULBAS	540
BUGEY-2-3	PWR	Aktív		910 x2
BUGEY-4-5				880 x2
CATTENOM-1-4	PWR	Aktív	CATTENOM	1300 x4
CHINON A-1-3	GCR	Bezárva	AVOINE	70-180-360
CHINON B-1-4	PWR	Aktív	AVOINE	905 x4
CHOOZ-A (ARDENNES)	PWR	Bezárva	CHOOZ	305
CHOOZ B-1-2	PWR	Aktív		1500 x2
CIVAUX-1-2	PWR	Aktív	CIVAUX	1495 x2
CRUAS-1-4	PWR	Aktív	CRUAS	915 x4
DAMPIERRE-1-4	PWR	Aktív	DAMPIERRE-EN-BURLY	890 x4
EL-4 (MONTS D'ARREE)	HWGCR	Bezárva	BRENNILIS	70
FESSENHEIM-1-2	PWR	Bezárva	FESSENHEIM	880 x2
FLAMANVILLE-1-2	PWR	Aktív	FLAMANVILLE	1330 x2
FLAMANVILLE-3		Építés alatt		1630
G-2-3 (MARCOULE)	GCR	Bezárva	MARCOULE	39-40
GOLFECH-1-2	PWR	Aktív	GOLFECH	1310 x2
GRAVELINES-1-6	PWR	Aktív	GRAVELINES	910 x6
NOGENT-1-2	PWR	Aktív	NOGENT-SUR-SEINE	1310 x2
PALUEL-1-4	PWR	Aktív	PALUEL	1330 x4
PENLY-1-2	PWR	Aktív	PENLY	1330 x2
PHENIX	FBR	Bezárva	MARCOULE	130
ST. ALBAN-1-2	PWR	Aktív	SAINT-MAURICE-L'EXIL	1335 x2
ST. LAURENT A-1-2	GCR	Bezárva	ST. LAURENT DES EAUX	390-465
ST. LAURENT B-1-2	PWR	Aktív	ST. LAURENT DES EAUX	915 x2
SUPER-PHENIX	FBR	Bezárva	CREYS-MALVILLE	1200
TRICASTIN-1-4	PWR	Aktív	PIERRELATTE	915 x4

Forrás: Power Reactor Information System (lefordítva), <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=FR>

<i>Bruttó teljesítő-képesség (MW)</i>	<i>Első csatlakoztatás a villamoshálózatra</i>	<i>Üzemidő vége</i>	<i>Üzemidő-tartam (évben)</i>
1363 x2	1987, 1988	-	-
951 x4	1981, 1982, 1983 x2	-	-
555	1972	1994	22
945 x2	1978 x2	-	-
917 x2	1979 x2	-	-
1362 x4	1986, 1987, 1990, 1991	-	-
80-230-480	1963, 1965, 1966	1973, 1985, 1990	10, 20, 24
954 x4	1982, 1983, 1986, 1987	-	-
320	1967	1991	24
1560 x2	1996, 1997	-	-
1561 x2	1997, 1999	-	-
956 x4	1983, 1987 x3	-	-
937 x4	1980 x2, 1981 x2	-	-
75	1967	1985	18
920 x2	1977 x2	2020 x2	43
1382 x2	1985, 1986	-	-
1650	-	-	-
43 x2	1959, 1960	1980, 1984	21, 24
1363 x2	1990, 1993	-	-
951 x6	1980 x3, 1981, 1984, 1985	-	-
1363 x2	1987, 1988	-	-
1382 x4	1984 x2, 1985, 1986	-	-
1382 x2	1990, 1992	-	-
142	1973	2010	37
1381 x2	1985, 1986	-	-
500-530	1969, 1971	1990, 1992	21
956 x2	1981 x2	-	-
1242	1986	1998	12
955 x4	1980 x2, 1981 x2	-	-

2. táblázat: Németország atomreaktorai

<i>Reaktor neve</i>	<i>Reaktortípus</i>	<i>Státusz</i>	<i>Helyszín</i>
AVR JUELICH	HTGR (kutatói célokra használva)	Bezárva	JUELICH
BIBLIS-A	PWR	Bezárva	BIBLIS
BIBLIS-B	PWR	Bezárva	BIBLIS
BROKDORF	PWR	Aktív	OSTERENDE
BRUNSBUETTEL	BWR	Bezárva	BRUNSBUETTEL
EMSLAND	PWR	Aktív	LINGEN (EMS)
GRAFENRHEINFELD	PWR	Bezárva	SCHWEINFURT
GREIFSWALD-1	PWR	Bezárva	GREIFSWALD
GREIFSWALD-2	PWR	Bezárva	GREIFSWALD
GREIFSWALD-3	PWR	Bezárva	GREIFSWALD
GREIFSWALD-4	PWR	Bezárva	GREIFSWALD
GREIFSWALD-5	PWR	Bezárva	GREIFSWALD
GROHNDE	PWR	Aktív	GROHNDE
GUNDREMMINGEN-A	BWR	Bezárva	GUNDREMMINGEN
GUNDREMMINGEN-B	BWR	Bezárva	GUNDREMMINGEN
GUNDREMMINGEN-C	BWR	Aktív	GUNDREMMINGEN
HDR GROSSWELZHEIM	BWR	Bezárva	KARLSTEIN
ISAR-1	BWR	Bezárva	ESSENBAACH
ISAR-2	PWR	Aktív	ESSENBAACH
KNK II	FBR	Bezárva	EGGENSTEIN
KRUEMMEL	BWR	Bezárva	GEESTHACHT
LINGEN	BWR	Bezárva	LINGEN
MUELHEIM-KAERLICH	PWR	Bezárva	MULHEIM-KAERLICH
MZFR	PHWR	Bezárva	KARLSRUHE
NECKARWESTHEIM-1	PWR	Bezárva	NECKARWESTHEIM
NECKARWESTHEIM-2	PWR	Aktív	NECKARWESTHEIM
NIEDERAICHBACH	HWGCR (kutatói célokra használva)	Bezárva	KARLSTEIN
OBRIGHEIM	PWR	Bezárva	OBRIGHEIM
PHILIPPSBURG-1	BWR	Bezárva	PHILIPPSBURG
PHILIPPSBURG-2	PWR	Bezárva	PHILIPPSBURG
RHEINSBERG	PWR	Bezárva	GRANSEE
STADE	PWR	Bezárva	STADE
THTR-300	HTGR (kutatói célokra használva)	Bezárva	HAMM-UENTROP
UNTERWESER	PWR	Bezárva	STADLAND
VAK KAHL	BWR	Bezárva	KAHL
WUERGASSEN	BWR	Bezárva	WUERGASSEN

Forrás: Power Reactor Information System (lefordítva), <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=DE>

<i>Beépített teljesítő-képesség (MW)</i>	<i>Bruttó teljesítő-képesség (MW)</i>	<i>Első csatlakoztatás a villamoshálózatra</i>	<i>Üzemidő vége, Tervezett leállítás</i>	<i>Üzemidő-tartam (évben)</i>
13	15	1967	1988	21
1167	1225	1974	2011	37
1240	1300	1976	2011	35
1410	1480	1986	2021	35
771	806	1976	2011	35
1335	1406	1988	2022	34
1275	1345	1981	2015	34
408	440	1973	1990	17
408	440	1974	1990	16
408	440	1977	1990	13
408	440	1979	1990	11
408	440	1989	1989	-
1360	1430	1984	2021	37
237	250	1966	1977	11
1284	1344	1984	2017	33
1288	1344	1984	2021	37
25	27	1969	1971	2
878	912	1977	2011	34
1410	1485	1988	2022	34
17	21	1978	1991	13
1346	1402	1983	2011	28
183	268	1968	1977	9
1219	1302	1986	1988	2,5
52	57	1966	1984	18
785	840	1976	2011	35
1310	1400	1989	2022	33
100	106	1973	1974	1,5
340	357	1968	2005	37
890	926	1979	2011	32
1402	1468	1984	2019	35
62	70	1966	1990	24
640	672	1972	2003	31
296	308	1985	1988	3,5
1345	1410	1978	2011	33
15	16	1961	1985	24
640	670	1971	1994	23

Leírás és INES szint	Emberek és környezet	Radiológiai gátak és sugárvédelmi korlátok	Mélységben tagolt védelem
7. szint Nagyon súlyos baleset	Csernobil, 1986. Kiterjedt egészségügyi és környezeti hatások. A zónaleltár jelentős részének környezeti kibocsátása. Fukusima, 2011. A zónaleltár jelentős részének környezeti kibocsátása.		
6. szint Súlyos baleset	Kysthym, Oroszország, 1957. Radioaktív anyagok jelentős kibocsátása a környezetbe egy nagy aktivitású hulladék tartály felrobbanását követően.		
5. szint Kiterjedtebb következményekkel járó baleset	Windscale Pile, UK, 1957. Radioaktív anyag kibocsátása a környezetbe a reaktor zóna kigyulladását követően.	Three Mile Island, USA, 1979. Reaktorzóna súlyos károsodása.	
4. szint Helyi következményekkel járó baleset	Tokaimura, Japán, 1999. Munkavállalók halálos besugárzása a nukleáris létesítményben bekövetkezett kritikussági esemény után.	Saint Laurent des Eaux, Franciaország, 1980. A reaktor egyik fűtőelem csatornájának megolvadása, telephelyen kívüli kibocsátás nélkül.	
3. szint Súlyos üzemzavar	Lingen, Németország, 2013 Ipari radiográfiás vizsgálat közben munkavállaló nem halálos, de súlyosabb egészségügyi következményekkel járó sugárterhelése.	Sellafield, UK, 2005. Nagy mennyiségű radioaktív anyag kikerülése és létesítményen belül tartása.	Vandellós, Spanyolország, 1989. Tűz miatti majdnem baleset, amely a biztonsági rendszer elvesztését okozta az atomerőműben.
2. szint Üzemzavar	Beltsville, USA, 2009 Sugárterápiás gyógyszer készítése közben a dolgozót ért hatósági doziskorlátot meghaladó sugárterhelés.	Cadarache, Franciaország, 1993. Radioaktív szennyeződés ennek kezelésére nem tervezett területre jutása.	Forsmark, Svédország, 2006. Leromlott biztonsági funkciók, az üzemzavari áramellátó rendszer közös okú meghibásodásával az atomerőműben.
1. szint Rendellenesség	Tornio, Finnország, 2013 Acél öntőműbe érkező fémhulladékban felfedezett sugárforrás.		Üzemeltetési korlátok sérülése egy nukleáris létesítményben.
Nincs biztonsági jelentősége (0. szint)			

3. táblázat: Megtörtént nukleáris üzemzavarok és balesetek az INES skálán rangsorolva

Forrás: https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/web?openagent&menu=02&submenu=2_6_1

IX. ÁBRAJEGYZÉK

1-3. és az 5. ábrák forrása: Radnóti Katalin, Király Márton: *Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük*, Nukleon, 2015.

1. ábra: Az RBMK-típusú reaktor felépítése
2. ábra: A nyomottvizes atomerőmű szerkezete
3. ábra: A forralóvizes atomerőmű szerkezete
4. ábra: Magas hőmérsékletű tóriumos reaktor (THTR)
Forrás: <https://docplayer.hu/116026890-Atomeromuvek-felepitesi-tervezese.html>
(Utolsó megtekintés dátuma: 2021. május 24.)
5. ábra: A gázhűtésű gyorsreaktor vázlata
6. ábra: Előrejelzés a végfelhasználók energiakiadásáról üzemanyag és az Új Energiapolitikai Forgatókönyv szerint
Forrás: International Energy Agency: World Energy Outlook 2017, 280. o.
7. ábra: Top-20 állam villamosáram-fogyasztása 2000-2017 között és az egy főre jutó villamosáram-fogyasztás 2017-ben
Forrás: International Energy Agency: World Energy Outlook 2018, 286. o.
8. ábra: A villamosáram-fogyasztás és az egy főre jutó GDP közti összefüggés
Forrás: International Energy Agency: World Energy Outlook 2018, 287. o.
9. ábra: Előrejelzés az EU-ban található elektromos autók flottájáról az Új Energiapolitikai Forgatókönyv szerint 2015-2040 között
Forrás: International Energy Agency: World Energy Outlook 2018, 368. o.
10. ábra: Az EU teljes nukleáris kapacitása (GWe)
Forrás: Európai Bizottság: Közlemény a nukleáris indikatív programról az Euratom-Szerződés 40. cikke értelmében az Európai Gazdasági és Szociális Bizottság általi véleményezésre, 2016.,
11. ábra: Szél-és naperőművek aránya az EU-27 országokban, 2010-2020
Forrás: Agora-Ember Energiewende: The European Power Sector in 2020: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition, 2021., 7. o.
12. ábra: A szél- és naperőművek energiatermelésének növekedése 2019-ről 2020-ra
Forrás: Agora-Ember Energiewende: The European Power Sector in 2020: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition, 2021., 8. o.

13. ábra: A plutónium útja Franciaországban

Forrás: <http://npa29quimper.over-blog.fr/article-la-route-du-plutonium-117055611.html>

(Utolsó megtekintés dátuma: 2021. május 24.)

14. ábra: Németország energiatermelő forrásainak aránya 2002-2020 között

Forrás: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-energy-consumption-and-power-mix-charts>

(Utolsó megtekintés dátuma: 2021. május 24.)

15. ábra: Energiával kapcsolatos CO2 kibocsátás a Földön, 1990-2020 között

Forrás: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-1990-2020>

(Utolsó megtekintés dátuma: 2021. május 24.)

16. ábra: Villamosenergia-termelés összetétele a világon, 2010-2020 között

Forrás: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electricity-generation-mix-2010-2020>

(Utolsó megtekintés dátuma: 2021. május 24.)

17. ábra: Az Európai Unió 2020-as CO2 kibocsátásának havi változása a 2019-es adatokhoz képest

Forrás: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/monthly-change-in-co2-emissions-in-the-european-union-in-2020-relative-to-2019>

(Utolsó megtekintés dátuma: 2021. május 24.)

18. ábra: Előrejelzés a szén-dioxidkibocsátás három növekedési sebességéről a STEPS szerint

Forrás: International Energy Agency: World Energy Outlook 2017, 118. o.

19. ábra: A primerenergia-termelés alakulása tüzelőanyag-típus szerint, EU-27, 2008-2018

Forrás: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_production_and_imports/hu

(Utolsó megtekintés dátuma: 2021. május 24.)

20. ábra: Az Energiastratégia pillérei

Forrás: Nemzeti Fejlesztési Minisztérium: Nemzeti Energiastratégia 2030, 2012., 42. o., [https://2010-](https://2010-2014.kormany.hu/download/4/f8/70000/Nemzeti%20Energiastrat%C3%A9gia%202030%20teljes%20v%C3%A1ltozat.pdf)

2014.kormany.hu/download/4/f8/70000/Nemzeti%20Energiastrat%C3%A9gia%202030%20teljes%20v%C3%A1ltozat.pdf

(Utolsó megtekintés dátuma: 2021. május 24.)

X. TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat: Franciaország atomreaktorai

Forrás: Power Reactor Information System (lefordítva) -

<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=FR>

(Utolsó megtekintés dátuma: 2021. május 24.)

2. táblázat: Németország atomreaktorai

Forrás: Power Reactor Information System (lefordítva) -

<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=DE>

(Utolsó megtekintés dátuma: 2021. május 24.)

3. táblázat: Megtörtént nukleáris üzemzavarok és balesetek az INES skálán rangsorolva

Forrás:

https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/web?openagent&menu=02&submenu=2_6_1

(Utolsó megtekintés dátuma: 2021. május 24.)

XI. IRODALOMJEGYZÉK

KÖNYVEK, TANULMÁNYOK

- Agora-Ember Energiewende: *The European Power Sector in 2020: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition*, 2021., 5., 7-8., 13-14. o.
- Az Európai Közösségek Bizottsága: *A Bizottság Közleménye a Tanácsnak és az Európai Parlamentnek – Nukleáris tájékoztató program*, Brüsszel, 2007.
- Communication Areva Tricastin: *GEORGES BESSE II - Quand l'enrichissement entre dans une nouvelle ère*, 2007.
- Dobor József, Kossa György, Pátzay György: *Atomerőművi balesetek és üzemzavarok tanulságai 2.*, Hadmérnök XII. évfolyam, 4. szám, 2017.
- Európai Bizottság: *Közlemény a nukleáris indikatív programról az Euratom-Szerződés 40. cikke értelmében az Európai Gazdasági és Szociális Bizottság általi véleményezésre*, 2016.
- International Energy Agency: *World Energy Outlook 2017.*, 46., 113., 118., 134., 229., 280., 297. o.
- International Energy Agency: *World Energy Outlook 2018.*, 286-287., 347., 368-370. o.
- Kanyár B., Somlai J., Szabó D. L.: *Környezeti sugárzások, radioökológia*, Veszprémi Egyetemi kiadó, 1996.
- Magyar Atlanti Tanács: *Magyarország Energiabiztonsága*, Zrínyi kiadó, 2020., 20., 32., 34. o.
- Ministère de la Transition Ecologique: *DATALAB – Chiffres clés de l'énergie*, Edition 2020.
- Miniszterelnökség/PTNM: *Japán nukleáris alapú villamosenergia-termelése és energiapolitikája 2021-ben*, 2021.02.26.
- Nemzeti Fejlesztési Minisztérium: *Nemzeti Energiastratégia 2030*, 2012., 42. o.
- Oda Becker: *A Critical Review of EU Nuclear Stress Tests in Bulgaria, Hungary, Romania and Ukraine*, Energiaklub, 2013.
- OECD NEA: *Nuclear Energy Data 2020*, 2021., 59. o.
- Pató Zsanett: *TDK Dolgozat – A csernobili atomreaktor balesete során létrejött környezetszennyezés vizsgálata mérés és modellezés segítségével*, ELTE TTK, Budapest, 2008.

- Philip L. Cantelon: *Nuclear safety has no borders - A History of the World Association of Nuclear Operators*, Croydon (Anglia), 2016, 4., 191. o.
- Radnóti Katalin, Király Márton: *Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük*, Nukleon, 2015.

INTERNETES OLDALAK

(Utolsó megtekintés dátuma: 2021. május 24.)

- <http://atomfizika.elte.hu/akos/orak/mrf/2018/mrf1-2018.pdf>
- http://atomfizika.elte.hu/magreszfiz/hanusovszkylivia_atomreaktorok.pdf
- http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_6_3_143_Cserhati.pdf
- http://old.mta.hu/data/cikk/13/64/74/cikk_136474/JRC-EASACleaflet_HU_web.pdf
- http://www.atomeromu.hu/hu/Rolunk/Technika/Atomtortenelem/Documents/Termeszetes_reaktorok.pdf
- <http://www.gesetze-im-internet.de/atg/index.html>
- <http://www.inpo.info/>
- <http://www.mikes.educv.ro/web/guest/hidrogenbomba>
- http://www.oew-energie.de/OEW_daten.html
- http://www.vmgfizika.fw.hu/segedanyagok/Radioaktivitas_FA_PM.pdf
- <https://24.hu/fn/gazdasag/2018/05/23/euroszazmilliokba-kerulhet-a-nemeteknek-az-atomeromuveik-leallitasa/>
- <https://444.hu/2019/01/10/hovihar-autopalyalezaras-aramkimaradasok-ausztriaban-es-nemetszagban>
- <https://cultura.hu/aktualis/a-three-mile-island-i-atombaleset/>
- <https://cultura.hu/kultura/henri-becquerel-a-radioaktivitas-felfedezoje/>
- https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- <https://energiaklub.hu/files/brochure/reaktorta.pdf>
- <https://group.vattenfall.com/de/unternehmen/geschichte>
- <https://hugas.met.com/hu/fyouture/zold-gazdasag/kiotoi-egyezmeny-jegyzokonyv/1157>
- https://hvg.hu/vilag/20100122_baleset_urandusito_uzem_nemetszag
- <https://infostart.hu/gazdasag/2014/05/11/az-allamra-biznak-atomeromuveiket-a-nemet-energiaszolgáltatok-636402>

- <https://infostart.hu/tudositoink/2016/05/25/aramkimaradasok-vannak-a-sztrajk-miatt-franciaorszagban>
- <https://interestingengineering.com/enrico-fermi-the-man-who-gave-the-world-nuclear-fission>
- <https://korkep.sk/cikkek/mindennapjaink/2021/01/11/penteken-egy-hajszalra-voltunk-az-europa-szintu-massziv-aramkimaradastol/>
- <https://magyarnemzet.hu/gazdasag/kis-hijan-teljesen-elsotetult-europa-9255062/>
- <https://magyartudat.com/energia-arak-leszoritasa-kina-lesz-a-vilag-legnagyobb-szelenergia-felhasznaloja/>
- <https://ng.24.hu/fold/2016/04/26/ha-elszabadul-az-atomenergia/>
- <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/phbl.19810371217>
- <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=873>
- https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_61_atomenergetikai_alapismeretek/ch02.html
- rte-france.com
- <https://theconversation.com/17-octobre-1969-saint-laurent-des-eaux-retour-sur-un-accident-nucleaire-francais-125322>
- <https://world-nuclear.org/nuclear-essentials/how-can-nuclear-combat-climate-change.aspx>
- <https://world-nuclear.org/our-association/who-we-are/mission.aspx>
- <https://www.asn.fr/L-ASN/Presentation-de-l-ASN/Les-missions>
- <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/energie-erzeugen/ausstieg-aus-der-kernkraft-394280>
- <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/fragen-und-antworten/kernkraft>
- <https://www.bund-naturschutz.de/ueber-uns/erfolge-niederlagen/wiederaufarbeitungsanlage-wackersdorf-waa>
- <https://www.cea.fr/Pages/surete-securite/priorite-securite-surete.aspx>
- <https://www.cleanenergywire.org/germanys-energiewende-brief>
- <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/climate-change/paris-agreement/>
- <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-nucleaire-en-chiffres>
- <https://www.enbw.com/unternehmen/konzern/ueber-uns/unternehmensportrait/>

- https://www.energiainfo.hu/ez_volt_a_nagy_europai_aramszunet_vagy_csak_az_elosz_ele-8465/
- <https://www.energycharter.org/process/overview/>
- <https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/hu/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/euratom-treaty>
- <https://www.ewe.com/de/konzern/ueber-uns/geschichte>
- <https://www.forumnucleaire.be/theme/dans-le-monde/france>
- <https://www.framatome.com/EN/businessnews-93/our-organization-evolves.html>
- <https://www.francetnp.gouv.fr/Pierrelatte-1-usine-d?lang=fr>
- <https://www.group.rwe/der-konzern/geschichte>
- <https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/web?OpenAgent&article=news&uid=5324B27E0B5B74F3C12582730043E9DD>
- <https://www.iaea.org/about/overview/history>
- <https://www.iaea.org/resources/databases/international-nuclear-and-radiological-event-scale>
- <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>
- <https://www.infinance.fr/articles/entreprise/societe-cotee-en-bourse/article-edf-presentation-et-histoire-397.htm>
- <https://www.infinance.fr/articles/entreprise/societe-cotee-en-bourse/article-edf-presentation-et-histoire-397.htm>
- <https://www.iter.org/proj/inafewlines#5>
- https://www.kernd.de/kernd/ueber-uns/datf/01_index.php
- <https://www.klett.de/alias/1010663>
- <https://www.ktg.org/ktg/faszination-kerntechnik/wer-wir-sind/>
- https://www.lemonde.fr/economie/article/2020/12/18/nucleaire-edf-choisit-le-site-de-penly-pour-construire-deux-epr_6063808_3234.html
- <https://www.meevet.hu/hir/az-eu-energiapolitikai-celkituzesei>
- <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/greenhouse-gases>
- <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1921/einstein/biographical/>
- <https://www.orano.group/fr/1-expertise-nucleaire/tour-des-implantations/recyclage-du-combustible-use/la-hague/expertise-unique->
- <https://www.origo.hu/nagyvilag/20061105aramkimaradasok.html>

- <https://www.origo.hu/nagyvilag/20161129-helyere-kerult-az-uj-csernobili-szarkofag-a-36-ezer-tonnas-acelszerkezet-az-egesz-serult.html>
- <https://www.portfolio.hu/global/20210214/varatlan-bejelentes-a-vilag-legnagyobb-szennyezojeto-l-napelemboom-es-arzuhanas-lehet-az-eredmenye-469708>
- <https://www.reuters.com/article/germany-electricity-statistics-idUSL8N2JF16X>
- <https://www.sfen.org/energie-nucleaire/panorama-nucleaire/nucleaire-france>
- <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/astrid-futur-reacteur-nucleaire-de-4eme-generation-3042/>
- <https://www.theguardian.com/environment/2021/mar/02/fossil-fuel-emissions-in-danger-of-surpassing-pre-covid-levels>
- <https://www.un.org/en/climatechange/science/key-findings>
- <https://www.vie-publique.fr/eclairage/271540-la-politique-du-nucleaire-civil-chronologie>
- <https://www.welt.de/politik/deutschland/article205498035/Positionspapier-CDU-zeigt-sich-offen-fuer-Rueckkehr-zur-Atomkraft.html>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ZOG8QxaYRds> / Jean-Christophe de Mestral előadása: *L'énergie du thorium, l'avenir vert du nucléaire ? (A tórium vajon a nukleáris energia zöld jövője?)*, 2013. november 28., Párizs, TEDxTalks