

Az atomenergia helyzete és jövője az Európai Unióban, avagy kik építhetik fel az új atomerőműveket az EU tagállamokban?

Végh János

Nyugdíjas fizikus

EC JRC Petten, MTA EK Budapest

A cikk az atomenergia jelenlegi helyzetét és várható fejlődését tárgyalja az Európai Unióban. Sorra veszi az egyes tagállamokban tervezett új blokkokat, azonosítja az új atomerőművek építését akadályozó tényezőket, és elemzi a potenciális kivitelezők képességeit. Rámutat olyan új lehetőségekre is, mint amilyen például a hatósági engedélyezési eljárások harmonizálása és az atomenergia EU zöld taxonómiába történő beemelésének várható kedvező hatása. Jelen cikk a szerző által a 30th Informal Meeting on Reactor Noise konferencián (Göteborg, Svédország, 2023. október 24-25) tartott előadás kibővített és átdolgozott változata.

Bevezetés

2022 egyrészt az orosz-ukrán konfliktus, másrészt az ennek következtében kialakult európai energiaválság miatt minden bizonnyal bekerül a történelemlétkönyvekbe. Egekbe szökő földgáz, villany- és üzemanyagárak, rezsizsámlák miatt aggódó fogyasztók, vészhelyzeti intézkedéseket bevezető kormányok, tanácstalan energiapolitikusok mellett a történelmi profítot kasszírozó gáz- és olajvállalatok a történet főszereplői. A kezdeti zűrzavar után 2023-ban a helyzet lassan megnyugodott, nem utolsósorban azért, mert Európa átvészelte 2022 enyhe telét, és az árak fokozatosan visszatértek a normális tartományba. Felmerül a kérdés, hogy mit kell hosszú távon az EU tagállamainak tenni, hogy elkerüljék a 2022-es energiaválság megismétlődését és tartósan stabil és biztonságos energiaellátást érjenek el. Néhány tagállam a megújulókat használatának fokozásában látja a megoldást, míg mások a szén-erőművek leállításának elhalasztását fontolgatják. Vannak olyan országok, amelyek a vezetéken érkező földgáz helyett cseppfolyós földgázra térnek át, még a jelentős ártöbbletet is vállalva.

Jelen cikk azokra az EU tagállamokra koncentrál, amelyek atomenergiát is kívánnak használni villamosenergia-ellátásuk hosszú távú biztosítására. A közölt információk a World Nuclear News [1] híreire, a World Nuclear Association [2] által publikált információkra, az Eurostat [3] és az European Environment Agency [4] adataira támaszkodnak, az adatok gyűjtése 2024. január 31-ig tartott. Felhasználtam továbbá a tagállamokban működő atomerőművek üzemeltetői és a nagy nemzetközi nukleáris beszállító cégek által közzétett információkat, valamint a vonatkozó uniós és szakmai hírforrásokat is. A cikk kijelentései és értékelései kizárólag a szerző véleményét tükrözik.

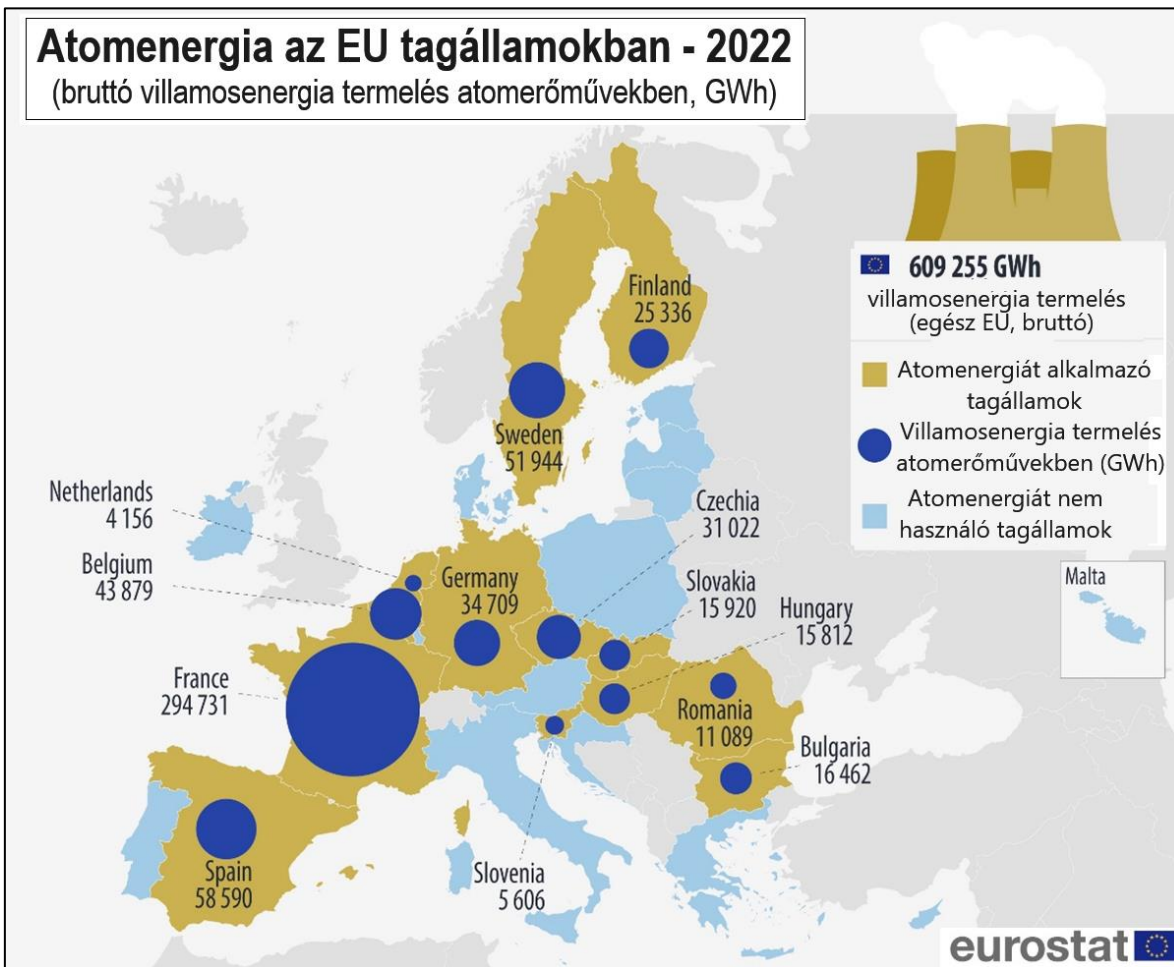
Az atomenergia jelenlegi helyzete az Európai Unióban

Kettévált Unió, atompárti és atomellenes tagállamok

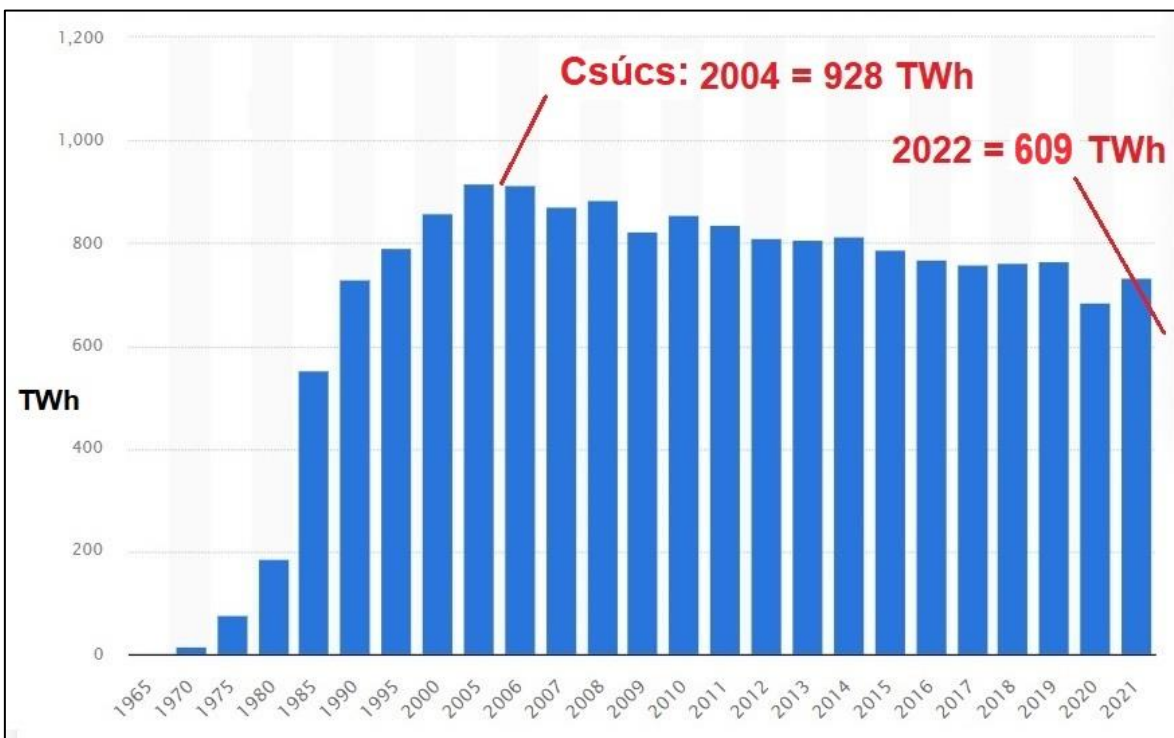
2023 végén 12 EU tagállamban 100 atomerőművi blokk üzemelt 97 GWe összesített kapacitással: Belgium, Bulgária, Csehország, Finnország, Franciaország, Hollandia, Magyarország, Románia, Spanyolország, Svédország, Szlovákia és Szlovénia tartozott az atomenergiát alkalmazó országok klubjába. Új blokk épül Franciaországban és Szlovákiában, a finn EPR blokk pedig már a kereskedelmi áramtermelés fázisába lépett. 2023-ban fontos változás történt Európában, mivel Németország 2023. április 15-én végleg leállította a még működő utolsó három blokkját, ezzel véget ért a kb. 60 évig tartó német atomkorszak.

A nem EU tag Svájcban négy működő blokk van 3 GWe kapacitással. A már nem EU tag Egyesült Királyságban összesen kilenc blokk üzemel (nyolc gázhűtésű és egy nyomottvízes típusú) összesen kb. 6 GWe villamos teljesítménnyel. Egy 2017-es svájci népszavazás úgy döntött, hogy az ország még működő négy blokkja addig üzemelhet, ameddig a svájci nukleáris hatóság engedélyezi, de új blokkok nem épülhetnek. Az Egyesült Királyság jelentős atomerőmű építési programmal rendelkezik.

A fennmaradó 15 EU tagállam nem használ atomenergiát, ezek az alábbiak: Ausztria, Ciprus, Dánia, Észtország, Görögország, (Horvátország), Írország, Lettország, Lengyelország, Litvánia, Luxembourg, Málta, Németország, Olaszország és Portugália. A frontvonal az „atomos” és „nem atomos” országok között jól definiált és meglehetősen merev, a „nem atomos” tagállamok közül csak Lengyelország rendelkezik egy elég ambiciózus atomenergia programmal, hogy az ország széntüzelésű erőművekre alapuló villamosenergia-termelési kapacitását alacsony CO₂ kibocsátású technológiára cserélje.



1. ábra: Atomenergiát használó és nem használó európai országok 2022-ben [3]



2. ábra: Az EU atomerőműveiben termelt villamos energia (TWh) 1965 és 2022 között [5]

Az atomenergia részesedése az EU villamos energia termeléséből: múlt és jelen

2005 és 2021 között az EU-ban működő atomerőművek által termelt villamos energia mennyisége 20%-al csökkent, miután 2004-ben elérte a maximális 928 TWh értéket. 2021-ben az EU atomerőművei 732 TWh villamos energiát termeltek, ami az EU teljes villamosenergia-termelésének kb. 25%-át tette ki (a 732 TWh felét franciaországi atomerőművek termelték).

2021-ben az EU nukleáris energiatermelése ugyan kb. 8%-al meghaladta a 2020-as szintet, de ezt az ideiglenes emelkedést 2022-ben egy meredek, 16%-os csökkenés követte (609 TWh értékre) elsősorban amiatt, hogy a szokásosnál jóval több francia atomerőművet állítottak le tervezett karbantartásra, továbbá Németországban több nagy blokk végleg leállt. A kontinenst sújtó rekord szárazság miatt a vízerőművekben megtermelt áram mennyisége is számottevően, közel 19%-al csökkent 2022-ben.

A megújuló energiákon alapuló villamosenergia-termelés szempontjából viszont 2022 kiemelkedő év volt, mivel 2022-ben fordult elő először, hogy a szél-turbinák és napelemek által együttesen termelt villamos energia mennyisége (a teljes EU termelés 22,3%-a) meghaladta mind az atomerőművek (21,9%), mind a földgázot használó erőművek (19,9%) termelését. 2022-ben az EU villamosenergia-termelése az alábbiak szerint oszlott meg:

- 32,0% = atom + vízerőmű; 22,3% = szél + napelem; 19,9% = földgáz; 16,0% = szén; 9,8% = egyéb (biomassza, kőolaj, stb.).
- 2022-ben az EU villamosenergia-termelésének már 54,3%-a származott alacsony ÜHG kibocsátással járó technológiákból, azaz szélből, napelemekből, atom- és vízerőműből.

Új atomerőművek építésére vonatkozó tervek az EU tagállamokban

Az atomenergiát használó EU tagállamok többsége a jövőben is kíván atomerőműveket üzemeltetni, de néhány ország (pl. Belgium és Spanyolország) a jelenleg érvényben lévő nemzeti energiapolitikai irányelvek szerint fel kíván hagyni ezzel a gyakorlattal.

Az 1. táblázat áttekinti az egyes EU tagállamok atomerőművekkel kapcsolatos terveit, kiegészítve az

Egyesült Királyság adataival (a közölt tervek a 2023 végi állapotot tükrözik).

Ez az EU tagállamokra mindösszesen +27,8 GWe (maximum +32,1 GWe) új kapacitást jelent, ami a jelenlegi EU atomenergia-kapacitás kb. 30%-ának felel meg. Ha az Egyesült Királyságot is belevesszük az összesítésbe, akkor +36,7 GWe (maximum +41,0 GWe) új kapacitásról van szó. Hogy ez sok-e vagy kevés, azt csak annak ismeretében lehet eldönteni, hogy mekkora lesz az a kapacitás, ami a véglegesen leállított atomerőművek miatt az EU-ban a következő kb. 15-20 évben ki fog esni.

Az atomenergiát jelenleg nem használó EU tagállam közül 10 ország (Ausztria, Ciprus, Dánia, Észtország, Görögország, Írország, Málta, Lettország, Luxemburg és Portugália) szilárd elhatározása, hogy a jövőben sem fog atomerőművet építeni. Horvátország Szlovéniával kíván társulni, ha a szlovén Krško telephelyen új blokk épül.

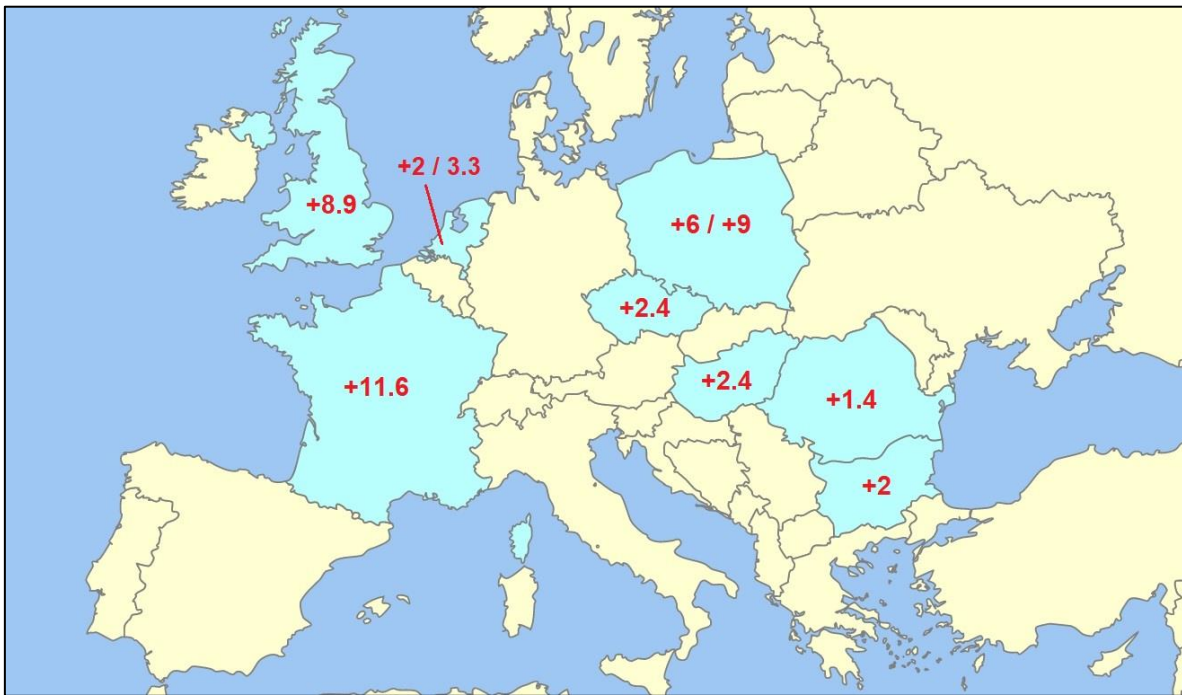
Litvánia hosszú ideig tanulmányozta két nagy Hitachi ABWR (forralóvízes) blokk építésének lehetőségeit a Visaginas telephelyen. A blokkok tervezett kapacitása egyenként 1350 MWe lett volna, de az orosz-ukrán konfliktus miatt kialakult helyzetben a projektet felfüggesztették, és jövője bizonytalan.

Olaszországban valaha több atomerőmű működött, de a csernobili baleset után ezeket fokozatosan leállították és leszerelték. 2011-ben, nem sokkal a fukushimai baleset után, az olasz kormány népszavazást kezdeményezett az atomenergia újbóli bevezetéséről, de az olasz szavazók akkor nagy többséggel elutasították az ötletet. Egyelőre itt sincs napirenden új atomerőmű építése, de a jelenlegi olasz kormány nem zárja ki a nukleáris opciót.

Ma a lengyel energiapolitika sarokköve az a terv, mely szerint az ország szénerőművekre épülő jelentős villamosenergia-termelő kapacitását atomenergiára támaszkodva cserélik le. Ennek jegyében Lengyelország hat új blokkot kíván 2040-ig építeni, 6 és 9 GWe közé eső összesített kapacitással. A kapcsolódó nagyléptékű építési projektek megalapítására a lengyel kormány 2022 októberében két megállapodást írt alá. Az elsőt a Westinghouse céggel kötötték, amely három AP1000 típusú blokk építését irányozza elő az Észak-Lengyelországban lévő Lubiato-wo-Kopalino telephelyen. A másik megállapodást a dél-koreai KHNP vállalattal írták alá, ennek értelmében elkezdik négy APR1400 típusú blokk építésének tervezését. Ezt a négy blokkot a sziléziai Patnow telephelyen tervezik megépíteni, Lengyelország délnyugati részén.

1. táblázat: Az EU és az Egyesült Királyság jelenleg ismert atomerőmű építési tervei

| Ország | Telephely/Blokk | Kapacitás, GWe | Blokk típus / db | Szállító |
|--------------------|----------------------------------|----------------|--------------------------------|------------------------------|
| Bulgária | Kozloduj / 7-8 | 2,0 | AP1000 / 2x | Westinghouse |
| Csehország | Dukovany / 5-6 | 2,4 | nincs kiválasztva | nincs kiválasztva |
| Franciaország | több telephely | 11,6 | EPR2 / 7x | EdF/Framatome |
| Hollandia | Borssele / 2-3 | 2,0 - 3,3 | AP1000 / 2x vagy EPR / 2x | nincs kiválasztva |
| Lengyelország | Lubiato-wo / 1-3 Patnow / 1-4 | 6,0 - 9,0 | AP1000 / 3x és APR1400 / 4x | Westinghouse KHNP (Korea) |
| Magyarország | Paks / 5-6 | 2,4 | VVER-1200 / 2x | Rosatom |
| Románia | Cernavoda / 3-4 | 1,4 | CANDU 6 / 2x | SNC-Lavalin |
| Egyesült Királyság | több telephely | 8,9 | EPR / 4x HPR1000 / 2x | EdF/Framatome CGN (Kína) |



3. ábra: Az EU és az Egyesült Királyság atomerőmű építési tervei, országonként GWe egységben megadva az új kapacitást

Kik építhetik fel az új atomerőműveket az EU tagállamokban?

Framatome

A Framatome cég 75,5%-ban az EdF (francia állami vállalat) tulajdona, a fennmaradó részen a japán Mitsubishi Heavy Industries (19,5%) és a francia Assystem (5%) cégek osztoznak.

A Framatome (később egy ideig Areva) cég által Franciaországban sikeresen felépített utolsó atomerőmű az 1999 decemberében elkészült Civaux 2 blokk volt (a Civaux 2 egy N4 típusú, 1500 MWe teljesítményű reaktor). Ezután a vállalat életében egy hosszú „keserű időszak” következett, amelyet csak néhány Kínában üzembe helyezett új blokk enyhített, beleértve a két Taishan-i EPR blokkot, amelyeket 2018-ban és 2019-ben kapcsoltak rá a villamos hálózatra [7]. Eközben Európában az Areva két EPR típusú blokkot épített (Olkiluoto 3 Finnországban és Flamanville 3 Franciaországban), de mindkét építkezésre a nagy késések, a költségek jelentős túllépése és a gyártási problémák voltak jellemzők. A finn OL3 blokkon az első kritikusságot 2021 decemberében érték el, majd hosszú próbaüzem után a kereskedelmi áramtermelés 2023 áprilisában kezdődött el. A szokatlanul hosszú próbaüzem fő oka több hosszú karbantartási, illetve javítási leállás volt, amelyeket a tápvízszivattyúk anyagproblémái okoztak. A francia F3 blokk építése 2007 decemberében kezdődött és a jelenlegi tervek szerint a blokkindításra 2024-ben kerül sor, ami kb. 16 év építési időt jelent. Ez nagyon hasonló az OL3 esetéhez, amelyet 2005 és 2022 között építettek fel.

A Framatome másik nagy európai projektje két EPR blokk építése az Egyesült Királyság Hinkley Point C (HPC) telephelyén. A Framatome az EdF alvállalkozójaként dolgozik a 2018-ban kezdett építkezésen, ahol a HPC 1. blokk indítását eredetileg 2027-re tervezték. Az EdF 2024

januárjában kiadott közleménye (lásd WNN [1]) szerint viszont az indítás akár 2030-ig is elhúzódhat, a költségek pedig 25%-al emelkednek és megközelítik a £10000/kW (kb. \$12500/kW) fajlagos értéket.

Ami a jövőt illeti, a Framatome (az EdF céggel együttműködve) kb. 11,6 GWe új megrendelést tudhat többé-kevésbé biztosnak Franciaországban (az F3 blokk befejezése és hat új EPR2). Ehhez az Egyesült Királyságban még várhatóan 6,9 GWe (négy új EPR2 építése) társul. A fenti tíz új blokknak a tervek szerint 2035-re működni kell, ami mindenképpen jelentős kihívást fog jelenteni az EdF/Framatome társulásnak. Emiatt várható, hogy a Framatome a fentiekén túl valószínűleg nehezen tudja további új blokkok építését felvállalni, vagyis a Kelet- és Közép-Európában várható új atomerőmű projektek kivitelezését vagy más szállítókra kell hagynia, vagy az ilyen munkák nagy részét alvállalkozókra kell bízni. Lengyelországban ez a folyamat már el is kezdődött, ahol a túl drágának ítélt francia EPR ajánlatot érdemben nem is tárgyalták és a lengyel kormány egy olyan nem-EU „keverékre” szavazott, amely részben Westinghouse (AP1000), részben pedig KHNP (Dél-Korea, APR1400 vagy APR1000) blokkokból fog állni.



4. ábra: Európa legnagyobb blokkja – a már áramot termelő Olkiluoto 3 EPR látképe [6]

Westinghouse

Jelenleg a Westinghouse Electric Company (WEC) tulajdonosa a kanadai Brookfield Business Partners, miután 2006 és 2018 között 12 évig a japán Toshiba birtokolta. Ezt megelőzően, 1999-ben a WEC céget a Westinghouse anyavállalat a British Nuclear Fuels Limited (BNFL) cégnek adta el és a Toshiba 2006-ban a BNFL-től vásárolta meg. A cég egyre jelentősebb pénzügyi problémái (pl. a kudarcba fulladt V. C. Summer iker-AP1000 erőműépítés miatt várható jelentős anyagi veszteségek) miatt 2017-ben a WEC csődeljárást kezdeményezett maga ellen. A csőd ellenére, a 2018-as Brookfield felvásárlás után a vállalat sikeres reorganizációt hajtott végre és mára sikerült pénzügyeit és piaci helyzetét is stabilizálni.

A hetvenes és nyolcvanas években a Westinghouse az új atomerőmű-blokkok egyik fontos szállítója volt Európában, mert épített Francia-, Spanyol-, Olasz- és Svédországban, Svájcban, Szlovéniában. Az Európában utolsóként épített Westinghouse atomerőmű-egység a Sizewell B blokk volt az Egyesült Királyságban (1200 MWe Westinghouse PWR, 1995).

Az USA-ban jelenleg a Westinghouse két AP1000 blokkot épít a Vogtle telephelyen. A Vogtle 3. blokk 2023. július 31-én hivatalosan megkezdte a kereskedelmi áramtermelést, míg a Vogtle 4. blokk a terve szerint 2024-ben lép üzembe. Több évtizedes építési szünet után ez a két blokk lesz az első új atomerőmű, amelyet üzembe helyeznek az USA-ban. A hosszú építési szünetet csak a Watts Bar erőmű 2. blokkjának befejezése szakította meg 2016-ban, habár ennek az 1165 MWe kapacitású, 2. generációs Westinghouse nyomottvízes blokknak az építése még 1973-ban kezdődött. Fukushima után ugyanakkor a Westinghouse sikeresen eladott négy új AP1000 blokkot Kínának (Sanmen 1&2 és Haiyang 1&2), ezeket 2018-ban és 2019-ben kapcsolták a hálózatra. Megjegyzendő, hogy a négy új blokkal együtt a WEC cég eladta kínai partnereinek az AP1000 blokk teljes technológiáját, ez képezte később az alapját a „honosított” kínai verzióknak, amire CAP1000 névvel hivatkoznak. A kínai atomipar ma úgy tervezi, hogy ebből a típusból több kínai telephelyen számos blokkot fog építeni.



5. ábra: Az épülő Vogtle 3 AP1000 blokk 2022 októberében [8]

A reorganizációt követően a Westinghouse többször kifejezte szilárd elkötelezettségét az AP1000 típus jövőbeli támogatását illetően, de kérdéses, hogy a WEC mai kapacitása elegendő lesz-e arra, hogy a világ több pontján egyidejűleg több AP1000 blokk építését sikeresen megvalósítsa. A Vogtle 3&4 blokkok építése messze van a sikertörténetektől annak ellenére, hogy ezek voltak az első új USA blokkok, amelyek építését az 1979-es Three Mile Island reaktorbaleset után megrendelték. Az építkezés 2009-ben

kezdődött, akkor még a két blokk üzembe helyezését 2016-ra és 2017-re tervezték. Menet közben azonban az építkezés számos ok miatt csúszott, és az építési költségek is folyamatosan növekedtek: jelenleg a két blokk teljes bekerülési költségét kb. 30 milliárd dollárra teszik a kezdeti 14 milliárd dollárral szemben. Egy hasonló, a V. C. Summer telephelyen már javában folyó építési projektet véglegesen törölni kellett a határidők állandó csúszásai és a folyamatos jelentős túlköltségek miatt.

Azt, hogy a Westinghouse képes lesz-e újból olyan jelentős szerepet játszani az új európai atomerőművek építésében, mint a múlt század utolsó három évtizedében, az idő fogja eldönteni. Jelenleg több EU tagállam (Lengyelország, Bulgária, Hollandia és Szlovénia) tervezi új atomerőmű építését AP1000 típusal, vagyis keresletből nincs hiány.

Rosatom

A Rosatom az orosz állam tulajdonában van, és hagyományosan rendkívül aktív a nemzetközi piacon. Jelenleg az alábbi országokban épít atomerőművi blokkokat: Banglades, Egyiptom, Fehéroroszország [9], India, Irán, Kína, Magyarország és Törökország. Emellett jelentős installált bázisa van az EU-ban, mivel összesen 18 darab szovjet tervezésű VVER blokk üzemel az alábbi tagállamokban: Bulgária, Csehország, Finnország, Magyarország és Szlovákia. A Rosatom mindig is törekedett arra, hogy modern, 3. generációs VVER reaktorokat építsen az EU-ban, és 2022 februárjáig ez a cél megvalósulni látszott, mert a Hanhikivi 1 (Finnország) és a Paks II (Magyarország) projektek összesen három VVER-1200 típusú blokk építését irányozták elő. Röviddel az orosz-ukrán konfliktus kezdetét követően a Fennovoima vállalat (a finn partner) törölte a Hanhikivi 1 projektet. Paks II építése még folytatódik, de a projekt tényleges kifizetése nehezen jósolható meg annak ellenére, hogy az EU Oroszországra kivetett gazdasági szankciói között a cikk írásakor (2024 eleje) nem szerepel az atomipari együttműködés vagy az orosz nukleáris üzemanyag-szállítás korlátozása.



6. ábra: Az épülő törökországi Akkuyu atomerőmű 2024 februárjában

Ha csak a számokat tekintjük, akkor a Rosatomnak marad elég nagy nemzetközi építési projektje még akkor is, ha az EU piachoz a jövőben nem, vagy csak korlátozottan fog hozzáférni.

Néhány G7 ország részéről nyílt törekvés van arra, hogy a civil nukleáris üzemanyagok piacán jelenleg meglévő 30%-os orosz részesedést fokozatosan visszaszorítsák. Öt G7 ország (Egyesült Királyság, Franciaország, Japán, Kanada és USA) a Nuclear Energy Forum 2023 áprilisi ülésén formális szövetséget is alakított ezzel a deklarált céllal.

Korea Hydro & Nuclear Power Co. – KHNP

A KHNP vállalat tulajdonosa a dél-koreai Korean Electric Power Corporation (KEPCO) cég, melynek részvénytöbbségét a koreai állam (18,2%) és a Koreai Fejlesztési Bank (32,9%) birtokolja.

A dél-koreai atomipar hosszú ideig csak a belső piacra koncentrált és sikeresen kiépítette az ország atomerőműparkját, amely jelenleg 25 működő blokkból áll, és Dél-Korea villamos energia felhasználásának kb. egyharmadát szolgáltatja. A fukushimai baleset után az ország nukleáris politikája megváltozott, és 2017-ben olyan döntés született, melynek értelmében az atomerőműveket fokozatosan le kell állítani. Dél-Korea új elnöke azonban 2022-ben felülírta ezt a döntést, és a jelenleg érvényes energiapolitika újból hat blokk építését tervezi 2033-ig. Az energiapolitika Fukushima utáni változásai arra ösztönözték a dél-koreai atomipart, hogy a potenciális exportpiacokkal is törődjön fokozott figyelmet fordítva Közel- és Közép-Keletre, Észak- és Közép-Afrikára, valamint Latin-Amerikára. Európa után szintén érdeklődnek, de idáig a KHNP-nek nem sikerült egyetlen nagy építési szerződést sem tető alá hozni Európában (ez hamarosan megváltozhat, lásd Lengyelország tervét APR1400 blokkok építésére).

Idáig a koreai atomipar legnagyobb külföldi sikere a Barakah atomerőmű felépítése volt az Egyesült Arab Emírátsok (UAE) területén. A Barakah erőmű négy APR1400 blokkból áll, egyenként 1345 MWe kapacitással. Az első blokk építése 2012-ben kezdődött, és a blokkot 2020-ban kapcsolták a villamos hálózatra. A 2. és 3. blokk 2021-ben és 2022-ben következett, míg a legfrissebb hírek szerint a 4. blokk indítását 2024-re tervezik. 12 év alatt összesen 5,4 GWe kapacitás megépítése (8 év/blokk átlagos építési idővel) kiemelkedő műszaki teljesítmény, főleg, ha a sivatag szélén elhelyezkedő, tengerparti Barakah telephely szélsőséges környezeti és időjárási körülményeit figyelembe vesszük. A Barakah erőmű egy másik figyelemre méltó tulajdonsága a költsége: mai becslés szerint a négy blokk teljes bekerülési költsége 24 milliárd dollár lesz, ami szokatlanul alacsony, \$4500/kW fajlagos beruházási költséget jelent. Megjegyzendő, hogy a fenti szám az USA-ban épülő V. C. Summer erőmű (két AP1000 blokk) fajlagos költségének (kb. \$15000/kW) csak mintegy harmada.

Jelenleg a KHNP az APR1400 típust szállítja exportra. Ez a típus annak az OPR1000 típusnak a folytatása, amely a „honosított” változata a Combustion-Engineering vállalat (USA) System 80+ nevű, a nyolcvanas évek végén kifejlesztett nyomottvízes reaktorának. Az APR1400 egy fejlett biztonsági rendszerekkel rendelkező 3. generációs típusnak tekinthető. Az európai piacra a KHNP a speciálisan

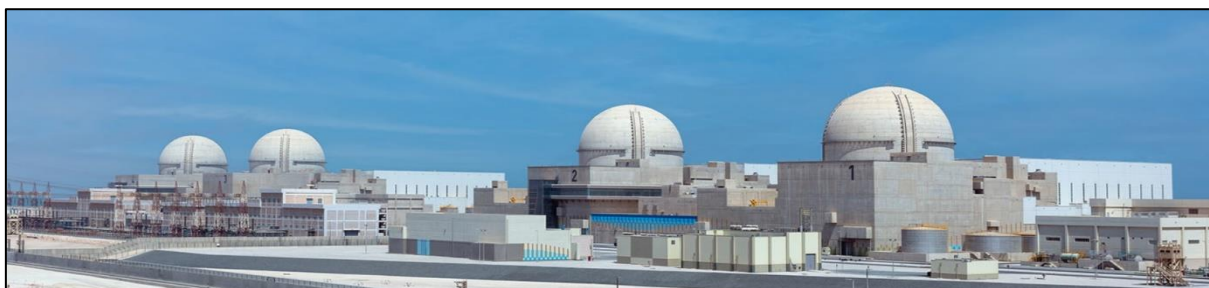
továbbfejlesztett EU-APR1400 verziót szánja, ennek duplafalú a konténment épülete, és ún. „zónafogó” berendezéssel is rendelkezik, amely a súlyos balesetek során megolvadt aktív zóna lokalizálására szolgál. A konténment emellett úgy lett megerősítve, hogy fokozott védelmet biztosítson repülőgép rázuhanása esetén. A típus megfelel az European Utility Requirements (EUR) dokumentum követelményeinek, és az US Nuclear Regulatory Commission (NRC) típusengedélyével is rendelkezik. Európai projektekhez újabban egy kisebb teljesítményű verziót, az APR1000 blokkot is ajánlja a KHNP.

Összegzésképpen elmondható, hogy a KHNP erős versenytársrá léphet elő az európai piacon. A Barakah erőmű felépítése során mutatott kiváló teljesítmény (a költségterv és a határidők betartása szempontjából egyaránt) erős ütőkártya lesz a dél-koreai vállalat kezében a jövőbeli tendertárgyalások során. A fentiek miatt a KHNP valószínűleg jó eséllyel pályázhat azokban az EU tagállamokban, amelyek már elhatározták, hogy a jövőben felhagynak a VVER típusú blokkok telepítésével (ilyen ország pl. Csehország).

Kína

Jelenleg Kína rendelkezik a világ legambiciózusabb nukleáris energetikai programjával, ami ma 21 épülő blokkot jelent, összesen 23,5 GWe kapacitással. A kínai atomipar kiépítése a hetvenes években kezdődött francia, orosz és kanadai reaktortípusok alapján. A jelenleg működő kínai blokkok többsége valamelyik fenti típus „honosított” változatának felel meg, ezek mellé Kína még megszerezte a jogokat az EPR és az AP1000 típusok honosítására is. Az AP1000 kínai változatának neve CAP1000, de hívják „Hualong One” reaktornak is. Jelenleg a kínai cégek a nemzetközi piacon a „Hualong One” típust ajánlják HPR1000 néven [11]. A kínai atomenergia-export fő potenciális célpontjai ma az alábbiak: Egyesült Királyság (Bradwell B erőmű), Pakisztán, Argentína, Afrika, Délkelet-Ázsia, továbbá Közép- és Kelet-Európa.

Figyelembe véve a kínai atomipar méretét és képességeit, nem nehéz megjósolni, hogy Kína a jövőben valószínűleg jelentős szerepet fog játszani az új blokkok nemzetközi piacán. Ma a kínai cégek érdeklődésének fókuszusa elsősorban nem Európára irányul, de ez a helyzet a jövőben megváltozhat két ok miatt. Ha a Rosatom céget a jövőben kizárják az EU tenderekből, akkor az így keletkező „vákuumot” elvileg kínai cégek is képesek lesznek betölteni. A másik ok az, hogy a Framatome és Westinghouse vállalatok várhatóan fokozottan rá lesznek szorulva olyan alvállalkozókra, amelyek nagy építési és gyártási kapacitással, valamint megfelelő tapasztalattal és emberi erőforrásokkal rendelkeznek.



7. ábra: A Barakah erőmű négy APR1400 blokkjának látképe [10]

Japán vállalatok

A fukushimai baleset okozta sokkot a japán atomipar máig nem heverte ki. Annak ellenére, hogy a jelenlegi hivatalos energiapolitika kb. 20%-os nukleáris részesedéssel számol az ország villamos energia termelésében, 2011 után a tervezett új blokkok építését vagy végleg törölték, vagy elhalasztották. A japán atomipar hagyományosan a belföldi piacra fókuszált, külföldön japán cégek önálló kivitelezésében nem is épült még blokk. A forralóvízes reaktorok piacán az amerikai General Electric és japán Hitachi közös vállalata, a GE-Hitachi cég több európai helyszínen tervezett építkezést is érdeklődött (pl. Wylfa Newydd / Egyesült Királyság, Visaginas / Litvánia), de végül egyik projektből se lett valóság. Hasonló sorsra jutott a Toshiba ABWR építési projektje az USA-ban, a South Texas telephelyen. A nyomottvízes reaktorok piacán az egyetlen komoly kezdeményezés az ATMEA1 reaktor volt, amelyet a francia Areva és a japán Mitsubishi cég 50-50%-os közös vállalata fejlesztett ki kb. egy évtizede. Az ATMEA1 sokáig preferált jelölt volt a törökországi Sinop telephelyen építendő négyblokkos atomerőmű megvalósításához, de 2018-ban pénzügyi bizonytalanságok miatt a konzorcium japán résztvevői végleg kivonultak a projektből.

Összefoglalva elmondható, hogy japán cégek valószínűleg önállóan nem fognak pályázni európai új blokkok építésére, de nemzetközi konzorciumok tagjaként, amerikai vagy francia partnerekkel a részvételük egyáltalán nem kizárt, mivel jelentős kapacitásokkal rendelkeznek.

EU szintű pozitív fejlemények Fukushima után

A Fukushima erőmű 2011-es súlyos balesete óta EU szinten számos kezdeményezés történt az atomerőművek biztonságának fenntartására és továbbfejlesztésére. Sikeres kezdeményezésnek tekinthető a stresszteszt végrehajtása, a Nukleáris Biztonsági Irányelv kiegészítése és a periodikus tematikus szakértői felülvizsgálatok bevezetése. Az atomenergia alkalmazását támogató pozitív fejleménynek tekinthető az atomenergia beemelése az EU zöld taxonómia rendszerébe, továbbá az Európai Atomenergia Szövetség megalakulása. Nem sikerült azonban idáig megvalósítani az EU tagállamok nukleáris biztonsági szabályzatainak harmonizálását és egységesítését, amire az új blokkok engedélyezésének felgyorsításához nagy szükség lenne. Az alábbiakban a fenti események közül néhányat részletesebben áttekintünk.

A stresszteszt végrehajtása

A Fukushima katasztrófát követően az Európai Bizottság kezdeményezte az EU-ban működő összes atomerőmű célzott biztonsági felülvizsgálatát, a stressztesztet [12]. A teszt elvégzésére az EB csak az EU tagállamokat kötelezte, ennek ellenére számos nem-EU tag is csatlakozott hozzá (pl. Fehéroroszország, Örményország, Svájc, Törökország és Ukrajna). Az egyes erőművek önértékelései alapján az adott ország nukleáris hatósága állította össze a nemzeti jelentést, ezeket aztán EU szinten független felülvizsgálatnak vetették alá. A folyamat végén ún. Nemzeti Akciótervek készültek, ezek összefoglalták azokat az intézkedéseket, amelyeket a nukleáris létesítmények külső veszélyek elleni védelmének javítására az adott országban végre kell hajtani. Az

akciótervekben előirányzott intézkedések döntő részét a tagállamok elvégezték jelentősen növelve ezzel az EU nukleáris létesítményeinek külső veszélyek elleni védetségét.

Nukleáris Biztonsági Irányelv (Nuclear Safety Directive, NSD)

Egy adott EU tagállam területén található nukleáris létesítmény biztonsági felügyelete és a vonatkozó előírások, törvények betartatása nemzeti kompetencia és felelősség, de egy közösségi szintű és harmonizált jogi keretrendszer előnyei nyilvánvalóak. Egy ilyen közösségi szintű jogi keretrendszert definiált a 2009/71/Euratom [13] irányelv a nukleáris létesítmények biztonságának tekintetében. Az irányelv (melynek betartása és betartatása minden EU tagállamra nézve kötelező) célja, hogy a nukleáris biztonságot fenntartsa az EU tagállamokban, továbbá elősegítse a biztonság szintjének folyamatos javítását és tökéletesítését. Gyakran hivatkoznak rá az NSD (angol) rövidítéssel is. 2014-ben az NSD kiegészült a 2014/87/Euratom rendelettel [14], ez a fukushimai baleset tanulságait vette figyelembe, beleértve a stresszteszt eredményeit is. A 2014/87/Euratom rendelet az alábbiakra koncentrál:

- magas szintű nukleáris biztonsági célok definiálása és bevezetése hangsúlyozva a súlyos balesetek megelőzését, valamint a jelentős radioaktív kibocsátások elkerülését;
- a súlyos balesetek kezelésének javítása, továbbá a telephelyi és a telephelyen kívüli balesetelhárítási felkészültség és eljárások tökéletesítése;
- nukleáris létesítmények kötelező periodikus biztonsági felülvizsgálatának bevezetése;
- a rendszeres tematikus szakértői felülvizsgálatok európai rendszerének a bevezetése;
- a nemzeti nukleáris hatóságok szerepének és függetlenségének az erősítése.

2017 közepéig a kiegészített NSD az összes EU tagállamban nemzeti jogszabály lett. A 2009-es és a 2014-es irányelvek olyan magas szintű jogszabályok, amely nem helyettesítik a részletes követelményeket definiáló nemzeti nukleáris biztonsági szabályzatokat, inkább a szabályzatok általánosan érvényes, magas szintű céljait definiálják a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) biztonsági szabványaihoz hasonló módon.

EU szintű tematikus szakértői felülvizsgálatok

A tematikus szakértői felülvizsgálatok (angolul „topical peer reviews”, röviden TPR, [15]) európai rendszerét a felülvizsgált NSD vezette be azzal a feltétellel, hogy legalább hatévente kell ilyen értékelést végezni. Az EU szintű felülvizsgálatok tematikáját az ENSREG (European Nuclear Safety Regulators Group) szervezet határozza meg az EU tagállamok nukleáris hatóságaival és egyéb érintett szervezetekkel történő konzultáció után. Az első ilyen felülvizsgálatra 2017 és 2018 között került sor és témája az atomerőművek öregedéskezelése volt. A második felülvizsgálat témája a nukleáris létesítmények tűzvédelme és a gyakorlatot 2023 és 2024 során hajtották-hajjták végre. A felülvizsgálat a stresszteszthez hasonló eljárásrendben történik és az eredményeket EU szintű riportokban teszik

közzé, kiemelve a helyesnek talált eljárásokat és a közös problémákat, valamint a javító intézkedésekre vonatkozó ajánlásokat.

Az atomenergia beemelése az EU zöld taxonómia rendszerébe

Többéves előkészítő munka és heves viták után, 2022-ben az Európai Bizottság (EB) egy felhatalmazáson alapuló kiegészítő rendelet (Complementary Delegated Act, CDA [16]) tervezetét terjesztette az EU döntéshozó testületei elé. A CDA javasolta, hogy az atomenergia (a földgáz alapú villamosenergia-termeléssel együtt) kerüljön be az EU zöld taxonómiába.

Az EU zöld taxonómia a környezeti szempontból fenntarthatónak minősített ipari tevékenységeket rendszerezi, azzal a céllal, hogy a befektetéseket a fenntartható ipari tevékenységek felé terelje. A taxonómia által ma lefedett gazdasági szektorok (pl. erdészet, villamos energiatermelés, gépgyártás, szállítás, építőipar, stb.) az EU ÜHG kibocsátásnak kb. 80%-át adják. A taxonómia hat környezeti célkitűzése az alábbi (részletesen lásd [17] és [31]):

- éghajlatváltozás mérséklése,
- éghajlatváltozáshoz történő alkalmazkodás,
- vizek és tengeri erőforrások védelme és fenntartható felhasználása,
- áttérés a körforgásos (cirkuláris) gazdaságra,
- környezetszennyezés megelőzése és korlátozása,
- a biodiverzitás és az ökoszisztéma védelme és helyreállítása.

A rendelet szerint az atomenergia olyan alacsony CO₂ kibocsátással járó villamosenergia-termelési technológia, amely számottevően hozzá tud járulni az „éghajlatváltozás mérséklése” környezeti célkitűzéshez, miközben nem akadályozza jelentős mértékben a másik öt célkitűzés elérését. Emellett az EB bizonyos, földgázra épülő villamosenergia-termelési technológiák taxonómiába történő beemelését is javasolta, mivel úgy ítélte meg, hogy a földgáz a szénre épülő villamosenergia-termelés kiváltásának egy hatékony és a szénél kevésbé káros módszere lehet.

A taxonómia az atomenergia-életciklus fázisai közül csak az „üzemeltetési” fázist tartalmazza, de ebbe az üzemeltetés mellett bele kell érteni az erőmű építését, üzemidő hosszabbítását, végleges leszerelését, valamint a telephely eredeti állapotának helyreállítását is. A CDA 2023 január elsején lépett életbe, ennek eredményeképpen az atomenergia (és a földgáz) része lett az EU zöld taxonómiának. Ez a fejlemény várhatóan felbátorítja a potenciális befektetőket is, mivel az atomenergia ezzel hivatalosan is bekerült a „támogatott” kategóriába.

Az Európai Atomenergia Szövetség megalakítása

2023 februárjában 11 EU tagállam közös nyilatkozatban [18] deklarálta, hogy fokozni kívánja együttműködését az atomenergia terén, az „Európai Atomenergia Szövetség” (EU Alliance for Nuclear Power) nevű összefogás keretében. Később a 11 résztvevő 16-ra bővült, majd 2023 májusában

egy újabb közlemény [19] részletesen definiálta a szövetség célkitűzéseit is. A szövetséget formálisan Franciaország vezeti, vagyis az az ország, amely a legnagyobb atomiparral és a legtöbb atomerőművel rendelkezik az EU tagállamok közül. A [19] közlemény az alábbi fő célok megvalósítását tűzte ki:

- Az EU nukleárisenergia-termelésének teljes kapacitása jelenleg 100 GWe. A mai szint megtartásához 2050-re kb. 150 GWe teljes kapacitás elérése kívánatos figyelembe véve, hogy közben a villamos energia termelése jelentősen növekedni fog az EU-ban. Ez a cél 30-45 nagykapacitású új blokk, továbbá számos kisméretű moduláris reaktor (SMR) építésével érhető el, figyelembe véve a 2050-ig végleg leállított blokkokat is.
- Ehhez kapcsolódva az Egyesült Királyság is kb. 24 GWe új nukleáris kapacitás építését tervezi 2050-ig, hogy az atomenergia részesedését a hazai villamosenergia-termelésben a szövetség által kívánatosnak tartott értékre (kb. 25%) állítsa be.
- Újra kell építeni az európai nukleáris gyártókapacitást és ellátási láncot, amely az utóbbi évtizedekben – megrendelések hiányában – fokozatosan leépült.
- Fokozni kell az együttműködést az egyes tagállamok atomipara között, beleértve a közös ipari és kutatási projekteket, valamint oktatási programokat.
- A korszerű nemzetközi gyakorlatot figyelembe véve egységesíteni kell a tagállamok nukleáris biztonságra vonatkozó szabályait, hogy az új blokkok jelenleg szükségtelenül hosszú engedélyezési idejét jelentős mértékben csökkenteni lehessen.
- Csökkenteni kell az EU tagállamok függését az orosz atomipar (Rosatom és TVEL) vállalatától, beleértve az új blokkok építését és a nukleáris üzemanyag beszerzését is.

A szövetség ma még a kezdeti fázisában van, a fentiekben vázolt célok megvalósítása többéves koordinált munkát, jelentős tagállami és közösségi befektetést, valamint stabil politikai háttérrel és támogatást kíván az EU döntéshozói szintjein. Jelenleg több EU tagállam ellenzi, hogy az atomenergia a megújuló energiákkal azonos megítélés alá essen. Jellemző példa a Net Zero Industry Act (NZIA) rendelet tervezete, melyet 2023 márciusában tett közzé az EB. Az NZIA ([20], a „nettó zéró iparról szóló jogszabály”) a nettó zéró technológiai termékek európai gyártási rendszerének erősítésére szolgáló intézkedési keret létrehozását tűzte ki célul. Az EU atomipar képviselői kifogásolták a [20] tervezetet (lásd [21] és [32]), különösen azt, hogy eredetileg egyetlen ma elérhető nukleáris technológia sem került be a tervezet stratégiai jelentőségű nettó zéró technológiákat felsoroló mellékletébe. Az NZIA végleges verzióját – hosszas viták után – 2023 novemberében végül olyan formában fogadták el, hogy az atomenergia már súlyának megfelelően szerepel a nettó zéró technológiák között.

Az EU tagállamok nukleáris biztonsági szabályzatainak egységesítése

Az EU tagállamok nukleáris biztonsági szabályzatainak harmonizálása és egységesítése régóta napirenden van. A Nukleáris Biztonsági Irányelv a magas szintű

követelmények egységesítése irányába tett jelentős lépés volt, de az alacsony szintű, részletes követelmények tekintetében még messze nem lehet szabványosságról és egységes megközelítésről beszélni.

Az atomerőművek nukleáris engedélyezésének egyszerűsítésére és a követelmények egységesítésére az elmúlt évtizedekben világszerte számos kezdeményezés született, például:

- Típusengedély kiadása az engedélyezési folyamat egyszerűsítésére és rövidítésére. Ilyen például az US NRC által kiadott, 15 évig érvényes (Standard) Design Certificate [22] elnevezésű dokumentum, amely tanúsítja, hogy egy adott reaktortípus teljesíti az NRC biztonsági és egyéb követelményeit. A típusengedély nem konkrét telephelyre vonatkozik, továbbá nem kapcsolódik hozzá sem építési, sem üzemeltetési engedély. A későbbiekben a típusengedéllyel rendelkező reaktorra kombinált engedély kérhető egyetlen beadvánnyal, így egy lépésben kapható meg építési és üzemeltetési engedély.
- Előzetes hatósági típusminősítés elvégzése. Ebbe a kategóriába tartozik az Egyesült Királyság Generic Design Assessment (GDA, [23]) nevű hatósági eljárása. Ha egy adott reaktortípus megkapja a GDA tanúsítványt (a Design Acceptance Confirmation dokumentumot), akkor egy konkrét telephelyen felépítendő blokkra még meg kell szerezni a telephelytől függő összes további engedélyt, pl. a telephelyengedélyt és a kompetens környezetvédelmi hatóság engedélyét. A hosszadalmas típusminősítést viszont már nem kell megismételni, és csak az adott telephely tulajdonságai által befolyásolt nukleáris biztonsági jellemzők hatását kell újraértékelni.
- Világszerte elismert típusengedély bevezetése. A World Nuclear Association (WNA), a Nuclear Energy Institute (USA) és a Canadian Nuclear Association által nemrég publikált tanulmány [33] egy nemzetközi (világszerte elismert) típuserv-tanúsítvány és típusengedély bevezetését javasolja.
- A biztonsági és műszaki követelmények szabványosítása. Ezt a tevékenységet számos nemzetközi és európai szervezet végzi, a legfontosabbak az alábbiak:
 - A NAÜ a Biztonsági Szabványok (IAEA Safety Standards [24]) rendszerét dolgozta ki. Ez az egyetlen olyan szisztematikus nukleáris biztonsági követelményrendszer, amely ma világszerte elfogadott.
 - A Nyugat-Európai Nukleáris Hatóságok Szövetsége az ún. Biztonsági Referencia Szintekkel (WENRA Safety Reference Levels [25]) kívánja a követelményeket egységesíteni. A magas szintű követelményeknek megfelelő biztonsági referencia szintek használata ma lényegében az EU-ra korlátozódik.
 - Az EU Nukleáris Biztonsági Irányelv ([13] és [14]) alapvetően a magas szintű követelmények egységesítését célozta meg.
 - Az European Utility Requirements (EUR, [26]) dokumentumot az európai atomerőmű-üzemeltetők dolgozták ki, de az előzőekkel ellentétben az EUR nem

hatósági dokumentum, azaz nincs jogi hatálya. Az EUR ugyanakkor egy átfogó és részletes követelményrendszer, amely az építési, üzemeltetési, karbantartási, stb. előírások mellett szigorú biztonsági követelményeket is tartalmaz.

- Közös tervértékelés, közös állásfoglalások kidolgozása. Több ilyen kezdeményezés indult az elmúlt évtizedekben (lásd a [27] riportot), a legfontosabbak az alábbiak:
 - Az OECD NEA Multinational Design Evaluation Programme (MDEP, [28]) egy hatósági kooperáció, amely közös állásfoglalásokat ad ki tervezési kérdésekben.
 - A World Nuclear Association nemzetközi atomipari szervezet Cooperation in Reactor Design Evaluation and Licensing nevű munkacsoportja (CORDEL, [29]).
 - Az European Nuclear Installations Safety Standards Initiative (ENISS, [30]) az európai atomerőmű üzemeltetők szabványosítási kezdeményezése.

A fenti értékes kezdeményezések ellenére máig nincs olyan harmonizált nukleáris biztonsági szabályzat, amely minden EU tagállamban érvényes lenne. Nem alakították még ki egy szabványos típuserv-tanúsítvány európai verziójának jogi keretét és eljárásrendjét sem. A részletek kidolgozásának jelentős feladata természetesen az európai nukleáris hatóságokra hárulna, célszerűen az ENSREG koordinációja mellett.

Természetesen egy atomerőmű építése nemcsak a hatósági engedélyezés elhúzódása miatt késhet. Gyakran az engedélyes által benyújtott dokumentáció nem megfelelő és a hatóság által kért hiánypótlások sokáig tartanak. Építés és gyártás közben is előfordulnak hibák, pl. az alábbi lista az európai EPR építkezéseken tapasztaltak alapján készült:

- Nem megfelelő betonminőség (OL3, F3);
- Nem megfelelő hegesztési varratok a konténment acélborításánál (OL3);
- Néhány primerköri kovácsoltvas komponens nem megfelelő minősége (OL3);
- Minőségi dokumentáció hanyag kezelése a kovácsolást végző gyártónál (OL3, F3);
- A reaktortartály-fedél anyagának túlzott széntartalma (F3);
- Nem megfelelő hegesztési minőség egyes szekunderköri komponenseknél (F3);
- Kedvezőtlen talajviszonyok a reaktor munkagödör kiásása közben (Hinkley Point C);
- Az EPR blokk biztonsági besorolású irányítástechnikai (I&C) rendszerei és a blokk vezérléséért felelős (nem-biztonsági) I&C rendszerek nem voltak kellően függetlenek egymástól, emiatt alapos újratervezésre volt szükség (OL3, F3, Hinkley Point C).

A fenti hibák kijavítása sok pénzt és időt igényelt és nyilvánvalóan nagyban hozzájárult az OL3 és F3 építkezések elhúzódásához.

Összefoglalás és következtetések

Jelen cikk összefoglalta az atomenergia jelenlegi helyzetét az EU-ban a tagállamok által már elhatározott új blokkokra koncentrálva. Elemeztük a potenciális reaktorszállítókat is, kitérve jelenlegi és várható piaci helyzetükre és problémáikra is. Ezután áttekintettük azokat a fontos eseményeket, amelyek 2011 óta EU szinten történtek az atomenergia biztonságos alkalmazásának elősegítésére. Elemzéseinkből az alábbi következtetések vonhatók le:

- Az atomenergia körül ma jelentős változások zajlanak az EU-ban, ezeket főleg a klímaváltozás elleni összehangolt intézkedések indították el.
- A ma atomenergiát használó EU országok többsége a jövőben is hasznosítani akarja a már meglévő kapacitásait és új blokkok építését is tervezi.
- Ha a fenti tervek megvalósulnak, akkor az atomenergia a XXI. században is jelentősen (kb. 25%-os arányban) hozzá tud majd járulni az EU villamosenergia-termeléséhez.
- Az EU piacon ma csak limitált kapacitás áll rendelkezésre új blokkok építésére, és ez a szűk keresztmetszet rövidtávon minden bizonnyal akadályozni fogja az építkezéseket.

- Az új atomerőmű-építkezések döntő többségében három potenciális beszállító neve merült fel: EDF/Framatome, Westinghouse és KHNP.
- Dél Korea és Kína belátható időn belül önálló szállítóként és atomerőmű építőként is be fog lépni az európai piacra.
- A jelentős eddigi erőfeszítések ellenére jelenleg nincs minden EU tagállamra érvényes, harmonizált nukleáris biztonsági szabályzat, és nem létezik szabványos EU típusú tanúsítvány sem. Ez a körülmény számottevő akadálya az új blokkok kellően gyors hatósági engedélyezésének és az EU szintjén jelentős erőforrás-pazarlást okoz.

Az atomenergia alkalmazását preferáló EU tagállamok deklarált célja, hogy az atomenergia mai kb. 25%-os részesedése az EU villamosenergia-termelésében hosszú távon fennmaradjon, biztosítva ezzel az egyrészt az ellátásbiztonságot, másrészt az energiatermelés megfelelő diverzitását. A klímaváltozás elleni küzdelem jegyében ennél jóval ambiciózusabb globális célkitűzések is megfogalmazódtak: az ENSZ COP28 kongresszusának nyilatkozatát ([36]) 22 ország írta alá, célként megjelölve az atomenergiára épülő villamosenergia-termelés megháromszorozását 2050-ig.

Irodalomjegyzék

- [1] World Nuclear News, www.world-nuclear-news.org
- [2] World Nuclear Association, www.world-nuclear.org
- [3] Eurostat, www.ec.europa.eu/eurostat
- [4] European Environment Agency, www.eea.europa.eu
- [5] Statista, www.statista.com
- [6] Teollisuuden Voima Oyj (TVO), Finland, www.tvo.fi
- [7] world-nuclear-news.org/Articles/Second-Chinese-EPR-achieves-criticality
- [8] www.georgiapower.com/company/plant-vogtle/showcase/construction-photos.html
- [9] world-nuclear-news.org/Articles/Belarus-aims-to-launch-second-unit-of-nuclear-powe
- [10] www.enec.gov.ae/
- [11] world-nuclear-news.org/Articles/CGN-s-first-Hualong-One-reactor-starts-supplying-e
- [12] www.ensreg.eu/EU-Stress-Tests
- [13] A Tanács 2009/71/Euratom irányelve (2009. június 25.) a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági közösségi keretrendszerének létrehozásáról
- [14] A Tanács 2014/87/Euratom irányelve (2014. július 8.) a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági közösségi keretrendszerének létrehozásáról szóló 2009/71 irányelv módosításáról
- [15] www.ensreg.eu/eu-topical-peer-reviews
- [16] A Bizottság (EU) 2022/1214 felhatalmazáson alapuló rendelete (2022.3.9) C (2022) 631
- [17] www.eu-taxonomy.info
- [18] www.euractiv.com/section/energy-environment/news/eleven-eu-countries-launch-alliance-for-nuclear-power-in-europe/
- [19] world-nuclear-news.org/Articles/Alliance-calls-for-greater-European-support-for-nu
- [20] Javaslat a nettó zéró technológiai termékek európai gyártási ökoszisztémájának megerősítését célzó intézkedési keret létrehozásáról, COM (2023) 161, 2023/0081 (COD), EB, 2023.3.16
- [21] world-nuclear-news.org/Articles/Nuclear-partially-included-in-EU-s-Net-Zero-Indust
- [22] www.ecfr.gov/current/title-10/chapter-I/part-52

- [23] www.onr.org.uk/new-reactors/
- [24] www.iaea.org/resources/safety-standards
- [25] www.wenra.eu/node/86
- [26] www.europeanutilityrequirements.eu/
- [27] Different interpretations of regulatory requirements, Cooperation in Reactor Design Evaluation and Licensing - Licensing and Permitting Task Force, WNA Report Dec. 2021
- [28] www.oecd-nea.org/mdep/
- [29] world-nuclear.org/our-association/what-we-do/working-groups.aspx/#cordel
- [30] www.eniss.eu/
- [31] Végh J. Az EU zöld taxonómia és az atomenergia, Nukleon, XVI. évfolyam (2023) 250
- [32] <https://www.nucadvisor.com/post/the-revival-of-nuclear-power-in-europe>
- [33] A Framework for International Regulatory Efficiency to Accelerate Nuclear Deployment, World Nuclear Association, Report No. 2023/004, September 2023
- [34] world-nuclear-news.org/Articles/IEK2-Larger-capacity-considered,-Westinghouse,-ED
- [35] <https://world-nuclear-news.org/Articles/Roadmap-launched-for-expansion-of-nuclear-energy-i>
- [36] <https://world-nuclear-news.org/Articles/Ministerial-declaration-puts-nuclear-at-heart-of-c>