



TÚL KÉSŐN, TÚL DRÁGÁN - AZ SMR ÍGÉRET

Az 1986-os csernobili, majd a 2011-es fukusimai atomerőművi katasztrófákból az atomenergia ipar számára levont egyik tanulság az volt, hogy a korábbi, az 1960-as évektől járt utat, mely a még nagyobb, még robusztusabb és még tovább üzemeltethető nukleáris erőművek építésében látta a szektor jövőjét, le kell cserélni. Az áram-és hőtermelő egységek új tervezési, fejlesztési és építési irányvektorát újra kell gondolni; ebből „született meg”, majd jelent meg a 2020-as évek elejétől egyre erőteljesebben a médiában is a kis méretű moduláris reaktor ([Small Modular Reactor, SMR](#)) ígérete. A mára az iparági jövőkép legfőbb hivatkozási pontjává tett SMR küldetése világos:

- új generációs technológiaként kizárja a fukusimai és csernobili hatású nukleáris katasztrófák megismétlődését,
- biztonságosabban és tovább működjön az előző generációknál,
- legyen rugalmasabban szabályozható
- gyorsabban és gazdaságosabban építhető, illetve üzembe helyezhető legyen, mint amire jelenleg a nukleáris ipar képes - ennek útja a főalkatrészek szériagyártása lehet.

De az SMR-ígéret plusz felhajtó erőt is kapott, amikor az iparág arra a kommunikációra is ráerősített, miszerint ez a technológia lesz a klímacélok és a globális szén-dioxid-kibocsátás csökkentésének a kulcsa. A korábban főként [kanadai](#), kínai és orosz fogadkozásokhoz így csatlakozott a [régebb óta ismert amerikai NuScale](#) amit az utóbbi időszakban szaporodó bejelentései [felpörgettek a médiában](#), illetve más, [új projektekkel az Egyesült Államok](#), [Franciaország](#) és az [Egyesült Királyság](#) is. Sőt olyan országok is hallatni kezdték a hangjukat, amelyek a közelmúltban, mint [Belgium](#), éppen csak bejelentette: leszámol az atomenergiával (ezt felülírva, már fantáziát látnak az SMR-ekben), mint [Japán](#), ahol Fukushima után még mindig nagy az ellenállás az atomipar újra-megerősítése ellen (de a 2050-es zéró karbon misszióhoz a politikusokon keresztül az SMR-eket is megtalálta), vagy mint [Lengyelország](#), amelynek eddig nem volt atomerőműve, márciusban viszont már versenyfelügyeleti jóváhagyást kaptak olyan vegyes vállalat létrehozására, melynek célja a GE Hitachi Nuclear Energy (GEH) [BWRX-300-as](#) vízhűtéses, passzív biztonsági rendszerrel épített, 300 MW-os SMR-ének majdani kereskedelmi forgalomba hozatala (egyelőre csak Lengyelországban).

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség ([International Atomic Energy Agency, IAEA](#) - de a továbbiakban: NAÜ) [definiálása szerint](#) a világ érdeklődése leginkább a kisméretű moduláris reaktorok iránt nőtt meg (vannak közepes méretűek is), melyek egységenként legalább 10-, legfeljebb 300 MW teljesítményűek; a hagyományosnak tekinthető 1000-1200-1600 MW-os egységekből álló atomerőművekhez képest pedig a bekerülési költségük és a környezeti lábnyomuk is jóval kisebb. A gyakorlatban az SMR-ek mérete (kialakítása és hűtési típusa is) jelentősen eltérő lehet, de a NAÜ kategóriáját alkalmazva Bill Gates 2013 óta alakuló TerraPower projektje például nem is fér bele az SMR kategóriába, mivel nagyobb, mint 300 MW-osra épülhet, ugyanakkor éppen ez a limit tűnik elég könnyen mozdíthatónak, hiszen a cég indulásakor, 2013-ban az SMR-ek méretét még [20-125 MW közé lötték be](#). Volt másnak is tévedése: volt, aki úgy kalkulált mintegy két évtizeddel ezelőtt, hogy 2030-ra [összejöhet SMR-ből a világon](#) akár 40 GW össztermelői kapacitás is, de volt olyan is, aki 2040-re akár ezer SMR egység megépítését is [előrevetítette](#). Ezekből már szinte biztosan nem lesz semmi.

[A NAÜ szerint](#) ma a világban nagyjából 50 komolyan vehető SMR-terv és koncepció létezik, ezek legtöbbször még fejlesztési szakaszban tart, de néhányról azt állítják, hogy belátható időn belül célba ér. Tágabban értelmezve mindezt, e merítésbe beletartozik az is, hogy [nemrég lejelentették](#) a folyékony fém technológiára épülő amerikai THETA első technológiai tesztjét,



hogy tavaly decemberben [hivatalosan is készre jelentették](#) a kínai Shidao Bay-t, de azt is, hogy Kanadában [legalább egy tucat SMR fejlesztési javaslat kering](#) a Nukleáris Biztonsági Bizottság ([Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC](#)) előzetes engedélyezési labirintusában, de még egyetlen projektet sem hagytak jóvá. A célba érést tekintve a NAÜ négy komoly projektet tart nyilván „előrehaladott stádiumúként”: azt az argentin *Carem25*-öt, amelyet ugyan már 2014-ben építeni kezdtek, de az eredetileg 25 (mára 32) MW teljesítményre tervezett erőmű építésének befejezése [még mindig legalább 20 hónapot vesz majd igénybe](#), a két kínai SMR-t (a 2021. decemberben [be is kapcsolt](#), 200 MW-os *Shidao Bay*-t, illetve a tavaly nyáron építeni kezdett, de [gyorsan épülő](#), 125 MW teljesítményre tervezett, demonstrációs célú *Linglong-1*-et), illetve az oroszországi Jakutia-projekt, amelyet a Roszatom a tervei szerint tavaly év elején kezdtek el tervezni a kelet-szibériai helyszínrre, de a projekt alapját a 2019 őszétől működő úszó atomerőmű, az [Akademik Lomonoszov](#) adja.

Táblázatba rendezve

A nukleáris erőművek technológiai tipizálásának megértéséhez [edukációs segédanyagot összeállító](#) iparági világszövetségi portál legfrissebb adatai alapján íme azoknak a projekteknek a neve, típusa, mérete és helye, amelyekről a szaksajtóban SMR-ként legalább valamit már publikáltak. [Megjegyzés: a nevek és a típus alatt linkelve további információk és hivatkozások találhatóak.]

Már üzemelő kis méretű reaktorok

Név	Kapacitás	típus	Fejlesztő
CNP-300	300 MWe	PWR	SNERDI/CNNC, Pakisztán és Kína
PHWR-220	220 MWe	PHWR	NPCIL, India
EGP-6	11 MWe	LWGR	Bilibinó, Szibéria, Oroszország
KLT-40S	35 MWe	PWR	OKBM, Oroszország
RITM-200	50 MWe	Integrált PWR,	OKBM, Oroszország

Kis reaktorok építés alatt

Név	Kapacitás	típus	Fejlesztő
CAREM25	27 MWe	Integrált PWR	CNEA & INVAP, Argentína
HTR-PM	210 MWe	Twin HTR	INET, CNEC és Huaneng, Kína
ACP100/Linglong One	125 MWe	Integrált PWR	CNNC, Kína
BREST	300 MWe	Lead FNR	RDIFE, Oroszország

Hamarosan építhetőnek titulált kis méretű reaktorok

Név	Kapacitás	típus	Fejlesztő
VBER-300	300 MWe	PWR	OKBM, Oroszország
NuScale	77 MWe	Integrált PWR	NuScale Power + Fluor, USA
SMR-160	160 MWe	PWR	Holtec, USA + SNC-Lavalin,



Név	Kapacitás	típus	Fejlesztő
			Kanada
SMART	100 MWe	Integrált PWR	KAERI, Dél-Korea
BWRX-300	300 MWe	BWR	GE Hitachi, USA
PRISM	311 MWe	Sodium FNR	GE Hitachi, USA
Natrium	345 MWe	Sodium FNR	TerraPower + GE Hitachi, USA
ARC-100	100 MWe	Sodium FNR	ARC a GE Hitachival, USA-ban
Integral MSR	192 MWe	MSR	Terrestrial Energy, Kanada
Seaborg CMSR	100 MWe	MSR	Seaborg, Dánia
Hermes prototype	35 MWt	MSR-Triso	Kairos, USA
RITM-200M	50 MWe	Integral PWR	OKBM, Oroszország
RITM-200N	55 MWe	Integral PWR	OKBM, Oroszország
BANDI-60S	60 MWe	PWR	Kepeco, Dél-Korea
Xe-100	80 MWe	HTR	X-energy, USA
ACPR50S	60 MWe	PWR	CGN, Kína
Moltex SSR-W	300 MWe	MSR	Moltex, Egyesült Királyság

Kis méretű, jegelt vagy félbehagyott reaktorépítési tervek

Név	Kapacitás	típus	Fejlesztő
EM2	240 MWe	HTR, FNR	General Atomics (USA)
FMR	50 MWe	HTR, FNR	General Atomics + Framatome
VK-300	300 MWe	BWR	NIKIET, Oroszország
AHWR-300 LEU	300 MWe	PHWR	BARC, India
CAP200 LandStar-V	220 MWe	PWR	SNERDI/SPIC, Kína
SNP350	350 MWe	PWR	SNERDI, Kína
ACPR100	140 MWe	Integral PWR	CGN, Kína
IMR	350 MWe	Integral PWR	Mitsubishi Heavy Ind, Japán*
Westinghouse SMR	225 MWe	Integral PWR	Westinghouse, USA*
mPower	195 MWe	Integral PWR	BWXT, USA*
UK SMR	470 MWe	PWR	Rolls-Royce SMR,



Név	Kapacitás	típus	Fejlesztő
PBMR	165 MWe	HTR	UK PBMR, Dél-Afrika*
HTMR-100	35 MWe	HTR	HTMR Ltd, Dél-Afrika
MCFR	?	MSR/FNR	Southern Co, TerraPower, USA
SVBR-100	100 MWe	Lead-Bi FNR	AKME-Engineering, Oroszország
Westinghouse LFR	300 MWe	Lead FNR	Westinghouse, USA
TMSR-SF	100 MWt	MSR	SINAP, Kína
PB-FHR	100 MWe	MSR	UC Berkeley, USA
Moltex SSR-U	150 MWe	MSR/FNR	Moltex, Egyesült Királyság
Thorcon TMSR	250 MWe	MSR	Martingale, USA
Leadir-PS100	36 MWe	Lead-cooled	Northern Nuclear, Kanada

Mikro méretű reaktorok - fejlesztés alatt

Név	Kapacitás	típus	Fejlesztő
U-battery	4 MWe	HTR	Urenco által vezetett konzorcium, UK
Starcore	10-20 MWe	HTR	Starcore, Quebec
MMR-5/-10	5 vagy 10 MWe	HTR	UltraSafe Nuclear, USA
Holos Quad	3-13 MWe	HTR	HolosGen, USA
Gen4 module	25 MWe	FNR	Gen4 (Hyperion), USA
Xe-Mobile	1-5 MWe	HTR	X-energy, USA
BANR	50 MWt	HTR	BWXT, USA
Sealer	3-10 MWe	FNR	LeadCold, Svédország
eVinci	0,2-5 MWe	Heatpipe-FNR	Westinghouse, USA
Aurora	1,5 MWe	Heatpipe-FNR	Oklo, USA
NuScale mikro	1-10 MWe	Heatpipe-FNR	NuScale, USA

(A táblázat forrása: world-nuclear.org)

Számhaború



A nukleáris iparra jellemző adat és számháború miatt nem meglepő, hogy a különböző típusú, és eltérő méretűre tervezett SMR-ekről a globális iparági szervezet az 50-től eltérő számot is közölt már. 2020-ban például [egy komplett katalógust is összeállítottak](#), melyben a gyors neutronos kis atomerőművek terveitől a magas hőmérsékletű gázhűtésre, az olvadt sóra épülő nukleáris erőművi technológiákig és a mikro méretű rendszerekig 73 hivatalosan is létező projektet ismertettek. Ezzel az SMR-katalógussal azonban van egy kis gond. A kiadvány ugyanis e nyilatkozattal kezdődik: „Ez nem a NAÜ hivatalos kiadványa. Az anyagot a NAÜ hivatalosan nem vizsgálta felül. Az itt kifejtett vélemények nem feltétlenül tükrözik a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség vagy annak tagjainak véleményét. Bár nagy gondot fordítottunk a kiadványban szereplő információk pontosságának megőrzésére, sem a NAÜ, sem tagállamai nem vállalnak felelősséget a [kiadvány használatából] eredő következményekért...”.

Igen ám, de a katalógust hivatalos forrásokban is behivatkozzák - és ez így kissé érthetlenné teszi a disclaimer tartalmát és használatát. Az sem oszlatja el teljesen a ködöt, hogy a NAÜ hivatalosan - legalábbis Omar Yusuf, a szervezet Műszaki Együttműködési Osztályának vezetője által [2021 februárjában publikált cikke szerint](#) - úgy számol, hogy ma a világ 18 országban több mint 70 SMR-terven dolgoznak, ennyi projektben zajlik jelenleg érdemi fejlesztés, illetve projektelőkészítés.

Azt, hogy valójában hány ilyen projekt létezik, nem csak azért nehéz pontosan meghatározni, mert e két évvel ezelőtti alaposnak tűnő felsorolásba nem tartoztak még bele azok az amerikai hadsereg számára fejlesztés alatt álló mini vagy mikro méretű nukleáris erőművek, melyek ugyan évek óta folyamatban vannak, de csak most publikáltak róluk némi információt. A Powermag idén áprilisban az amerikai védelmi minisztériumból származó információk alapján [írta meg](#), hogy megkezdődik egy ígéretes mobil mikroreaktor prototípus, a Project Pele tesztelése. Az amerikai hadsereg igényeire igazított, 1-5 MW méretre szabhatónak ígért gázhűtéses nukleáris technológia mellett ráadásul még játékban van a [BWXT Advanced Technologies](#) egy másik, 50 MW méretű projektje is, sőt egy másik, [X-energy](#)hez köthető, 7 és 80 MW között felskálázható mobil atomerőművet ígérő terv is, és ezekből - állítja a lap - 2027-2028-ban már valószínűleg lesz sorozatgyártásra érett megoldás. Hanem azért is, mert a legtöbb, ilyen számokat közlő szakanyag nem jelöl pontos forrást. Így hiába, hogy e számháborúba elvileg beköthető a kanadai [SMR-Roadmap](#) is, amely több mint 150 SMR-tervről tud, mert ennek az adatnak a forrását a portál nem közli. S bár az olvasható a honlapon hogy „Kanada a világ egyik legígéretesebb hazai piaca az SMR-ek számára”, valamint hogy „Óvatos becslések szerint az SMR-ek potenciális értéke Kanadában 2025 és 2040 között 5,3 milliárd dollár” lesz, míg globálisan ez az érték eléri a 150 milliárdot, ami „Kanada számára nagy méretű, potenciális exportpiacot jelent”, azért az sokat levon ezekből a becslésekből, hogy a roadmap-honlap egy 2017-es nagy összkanadai nukleáris-ipari tanácskozás után készült, de most is az a friss információja, hogy 2018-ra elkészül majd a végső ütemterv - ami viszont azóta se történt meg.

A NAÜ magától félig eltartott, mintegy 350 oldalas katalógusához monumentalitásában és feldolgozásában eléggé hasonló gyűjtemény található [a Nukleáris Világszövetség honlapján is](#). A 17 fejezetből álló, mintegy 250 ezer karakteres szócikket percekig lehet lefelé görgetni, a dokumentumot 2022 májusában frissítették. Ehhez is tartozik értelmező, realizáló szövegrész. Csak itt ez az utóirat. Az olvasható benne, hogy bár a leírt, publikált tételek némelyike „lenyűgöző és izgalmas”, érdemes észben tartani [Hyman Rickover szavait](#) azzal kapcsolatban, hogy mi a különbség egy demonstrációs, illetve tesztreaktor, és egy termelőnek épülő atomerőmű között. Az atomtengeralattjáró-fejlesztések úttörőjeként a „nukleáris haditengerészeti atyja” megnevezéssel az amerikai történelemben bevonult admirális 1953-ban (amikor az első amerikai tesztreaktorok épültek), a következőkben látta a két projekt típus közti különbséget:

- az akadémiai reaktor jellemzője, hogy 1) egyszerű, 2) kicsi, 3) olcsó, 4) átlátható, 5) rendkívül rugalmas a rendeltetése, 6) azt állítják róla, hogy kevés fejlesztésre lesz szükség hozzá, de - bár állítják - leginkább már meglévő, készen kapható alkatrészeket fog használni, 7) a reaktor még kutatási fázisban van és 8) most még nem épül.



- ezzel szemben a gyakorlati, termelő reaktor 1) jelenleg épül, 2) az ütemtervvel megcsúszott, 3) hatalmas fejlesztést igényelnek a látszólag triviális tételek, 4) nagyon drága, 5) nagyon sok időt vesz igénybe, 6) nagy, 7) nehéz és 8) bonyolult projekt.

Mindebből az a végső konklúzió, hogy lehet, hogy számos, sokféle kísérleti projekt vagy akár demonstrációs SMR is épül majd, a befejezésük, a sikerességük és a termelő technológiává válásuk azonban már egy másik dimenzió. Franciaországban 2030 - de még inkább 2035 - [utánra ígérte](#) az EdF-fejlesztette francia SMR-ek térnyerését Emmanuel Macron idén februárban; az Egyesült Királyságban Boris Johnson reméli szinte ugyanezt [a Rolls Royce-tól a következő évtizedre](#), az amerikai NuScale a COP26 konferencián [bejelentette](#), hogy leszerződött a cernavodai atomerőművet működtető román NuclearElectricával az első európai moduláris atomreaktorra, a NAÜ pedig az érdeklődő iparági szereplőkkel [már arról tárgyal](#), hogy milyen kommunikációt tart hasznosnak az ügyben, hogy miként lesz érdemes az ipari parkokba, illetve gyártó-szolgáltató komplexumba javasolni és integrálni az SMR-t, és hogyan lehet majd e költségekbe és projektekbe a legjobban bevonni az érintett cégeket. Azonban mindezt még nem érdemes készpénznek venni.

Nem csak azért, mert ezek a határidők a nukleáris iparban az SMR remélt világhódító útjának csupán az első, valóban kézzel fogható tételét jelölik ki, hanem mert az SMR technológia egyáltalán nincs kézzelfogható közelségben.

Miért nem oldja meg?

A világ talán legnagyobb nonprofit környezetvédelmi szervezete, a 30 millió tagot számláló Környezetvédelmi Munkacsoport ([The Environmental Working Group, EWG](#)), mely tudósokból, szakpolitikai szakértőkből, jogászokból, kommunikációs és adatszaktól áll, 2021 márciusában *Hamis energia-„megoldások”, amelyekre Amerikának nincs szüksége* címmel [nyitott egy elemző, magyarázó cikkekből álló dossziét](#). A dossziében egy tétel az SMR-ekről szól. Arról, hogy miért nem reális az a [feltevés](#) és fogadkozás, hogy a nukleáris ipar új üdvöskéje megoldást jelenthet a globális klímaválságra és a szén-dioxid-kibocsátás radikális mértékű csökkentésére - annak ellenére, hogy éppen ezzel az indokkal támogatja az Egyesült Államok Energiaügyi Minisztériuma az SMR-ek kifejlesztését.

A cikk szerint a válaszhoz két tényezőre kell koncentrálni: az időre és a költségekre. Ezek alapján a mini atomerőműveknek két csoportja van: a jelenlegi nukleáris ipari technológiákhoz hasonló elven működő könnyűvízes reaktoroké (amelyeket elméletileg nem annyira komplikált engedélyeztetni), illetve a más elven működő, különböző tüzelőanyag-konstrukciókat használó rendszereké (mint a zónán átfolyó olvadt anyagokat használóké vagy a más hűtőközeget, például héliumot, folyékony nátriumot használóké). A szerzők szerint azonban mindkét csoportba sorolt projekteknek „rosszak a kilátásai”: a gazdaságosság, a tömeggyártás, a termelési költség és az időigény is azt mutatja, hogy az atomiparnak ez az ígérete nemigen váltható valóra.

Az EWG cikke azt írja, hogy az atomerőművek a méretgazdaságosság miatt nagyok, és ezt egyszer, az 1960-as években az amerikaiak sikertelenül próbálták meg cáfolni: pont azért álltak le a tervezett idő előtt a kis reaktorok, mert kiderült, hogy a kisebb méret fajlagosan nagyobb építési és üzemeltetési költséget generál. A tömeggyártással, - melytől az SMR-ek olcsóbbá tételét és gyorsabban felépíthetővé válását remélik a technológia támogatói - nem csak az a baj, hogy:

- nehezen hihető, hogy míg az atomerőmű építések történelme során eddig még sosem csökkent a kilowattorkénti tőkeköltség, éppen most sikerülne ezt megugrani - amikor egy hagyományos atomerőmű teljesítőképességét az SMR-ek 4-6, de akár 12 modul egymás mellé építésével tudnák elérni;
- nehezen hihető, hogy a tyúk-tojás problémát meg tudja oldani (vagyis azt a helyzetet, hogy a méretgazdaságossághoz és termékár-csökkenéshez gyártóüzemek kellene, a költségek csökkentéséhez viszont megrendelések, ám ez addig, míg magas az ár, nem



valószínű, így az ellátási lánc felállításához szükséges beruházások ösztönözhetősége is kérdéses).

Az is probléma, hogy a tömeggyártás óhatatlanul, de gyakorlatilag mindig előidéző gyártási problémákat vagy hibás szériákat. És bár a Toyota légszákok vagy Boeing 737 Max későn feltárt problémái esetében - nagyon komoly plusz költségek és veszteségek árán - levezényelhető volt a visszahívás (és a javítás, illetve a csere), mindez egy külvilágtól elzárt nukleáris reaktor esetében elképzelhetetlen. Amennyiben egy tömeggyártásban készült reaktor valamelyik alkatrésze hibás működést vagy biztonsági problémákat idézne elő, a teljes szériát le kellene állítani, a hibás alkatrészt vissza kellene hívni. A visszahívások az okostelefonoktól a sugárhajtású repülőgépekig a tömegtermelés velejárói, de egy, a külvilágtól teljesen elzárt belső rendszerű SMR esetében hogyan volna ez megoldható? - kérdezik a cikk írói, felröva, hogy ezzel a kérdéssel „az energiapolitikai döntéshozók nem is foglalkoznak”.

Ami pedig az időt illeti: az EGW felidézte, hogy az amerikai energetikai tárca ([Department of Energy, DOE](#)) 2001-ben kiadott prognózisa szerint mintegy tíz olyan SMR-tervnek volt arra esélye, hogy „még az évtized vége előtt elérhetővé válik a telepítéshez”. Bár az üzleti és iparági befektetők mellett az amerikai kormány is régóta, aktívan támogatja az SMR projekteket (314 millió dollárral már [biztosan hozzájárult](#) a NuScale SMR-terveinek fejlesztéséhez, és több mint százmillió dollárt kapott a DOE-től a Babcock & Wilcox is az [mPower](#) tervezéséért, amit 2017-ben végül egyszerűen félbehagytak), 2022-ben is csak az ígérhető meg, hogy az első SMR-avatásokra 2029-2030-ban talán sor kerül. Sőt - írják az elemzők - a DOE-nek ez az elképzelés is idealistának tűnik, mivel rendre előkerül valami újabb megbízhatósági probléma, amit meg kell oldani. Márpedig így a 2050-es karbon-szennyezés lenullázást sem lehet az SMR-ekre alapozni.

Az Energiagazdasági és Pénzügyi elemző Intézet ([Institute for Energy Economics and Financial Analysis: IEEFA](#)) februárban szintén erre jutott, amikor az SMR-vízióval kapcsolatban a médiában valószínűleg a legtöbbet szereplő [NuScale esélyeit vizsgálta meg](#) alaposabban. Az IEEFA elemzői négy kockázati tényezőt különítettek el:

- a növekvő építési költségeket (a NuScale ugyan azt állítja, hogy kilowattónként 3000 dollár alatti áron képes megépíteni az SMR-t, miközben a hivatalos becslés is meghaladja az egységenkénti 6800 dollárt);
- a hosszabb építési időt (a NuScale 2018-ban 2026-ra ígérte a bekapcsolást, jelenleg ez jó, ha 2029-ben megtörténhet);
- a teljesíthetetlen határfokot (a NuScale a teljes, 60 éves erőművi élettartamra 95 százalékos kihasználtsággal számol - aminek a közelében sincs az országban működő 93 működő atomreaktor egyike sem - a legjobbak az első évtizedükben tudtak valamivel 85 százalékos határfok felett maradni);
- a projektbe befektetőkre háruló magasabb költségeket (a projektbe beszállóknak minden olyan költséget és kiadást fizetniük kell, ami a majdani építési és projekt-végösszegeből visszabonthatóan az 58 dolláros MWh ár felett jelentkezik. És ezt akkor is meg kell fizetniük, ha az SMR soha nem épül meg, megsérül, leáll vagy megsemmisül).

[Erre írták](#) összegzésként az elemzők azt, hogy “túl későn, túl drágán, túl kockázatosan, túl bizonytalanul”.

„Ezek csak PowerPoint reaktorok”

Az SMR-eken keresztül érkező nukleáris iparági ígéretekről és a tényleges eredményeikről, lehetőségeikről komplex véleményt kértünk [Mycle Schneidertől](#). Az atomenergia ipar legmagasabb szinten jegyzett, független annalesét ([World Nuclear Industry Status Report WNISR](#)) jegyző kutató, szerkesztő a következő választ adta a kérdésre, hogy:

Mi a véleménye az SMR-ígéretekről?



„Az SMR-terjesztők két kulcsfontosságú jellemzővel illetik ötletüket: az SMR-ek sokkal kisebbek lennének, így kevesebb tőkét igényelnének, és jobban illeszkednének a kis elektromos hálózatokhoz, könnyen megépíthetők és így sokkal gyorsabban megvalósíthatók. Ezek az alap gondolatok évtizedek óta léteznek. Eddig csak Oroszország és Kína kapcsolt prototípusokat a hálózathoz.

Az orosz Akadémik Lomonoszov „lebegő” ikerreaktor 30 MW-os úszó erőd, melynek megépítése az eredeti tervek szerint 3,7 évig tartott volna, de valójában 12,7 évbe telt, vagyis 3 és félszer több időbe, míg az egységek a hálózatra csatlakoztatták. Nyilvánvaló, hogy a végső költségek is az egekbe szöknek, hiszen a teljes nukleáris költségek nagy része a finanszírozásból adódik. Ami még ennél is rosszabb, hogy 2020-ban, a termelés első teljes évében az egységek csak 29, illetve 19 százalékos kihasználtsággal működtek, ennyire kiábrándító eredményre senki nem számított a névleges teljesítményükhöz képest valóban leadott teljesítményt illetően. Kínában is hasonló a helyzet: a két 100 MW-os modul beindítását 2017-re tervezték, ebből máig az egyiket sikerült - azt 2021 végén kapcsolták be a hálózatba. Ez a tervezett építési időtartam duplája, ami nyilvánvaló pénzügyi vonzatokkal jár. Ugyanez várható máshol is: a nyugati világban eddig egyetlen országban egyetlen általános tervet hagytak jóvá: a NuScale-t az Egyesült Államokban; de a jóváhagyás óta a megcélzott modulméret negyedével, - 60 MW-ról 75 MW-ra - nőtt, a projekttel kapcsolatban pedig jelentős biztonsági problémák merültek fel, és a költségbecslések is az egekbe szöktek. Én úgy tartom, hogy az SMR-ek a valóságban nem léteznek - ezek csak PowerPoint reaktorok.

A nagy fejlesztők egyike sem kínál hiteles forgatókönyvet arra vonatkozóan, hogy még ebben az évtizedben beindítsa a prototípusát. Még legalább egy évtizedre lenne szükség ahhoz, hogy elkészüljön egy figyelemre méltó reaktorsorozat, miközben 20 darab NuScale modulra lenne szükség ahhoz, hogy egyetlen EPR-típusú reaktoregységgel egyenértékű (1600 MW) teljesítményt biztosítsanak. Annak fő oka, hogy a reaktorok idővel egyre nagyobbakká váltak, a méretgazdaságosságban keresendő - és ez veszett el az SMR-rel. De ez olyan, mintha az atomenergia ipar előlről kezdené a történelmét.

Az [EPR](#) egy evolúciós terv volt, amelyet a meglévő francia és német tervek alapján fejlesztettek ki. Az SMR tervek többsége új, koncepcionális ötleteket tartalmaz. Több mint három évtizedbe telt, míg az EPR tervezési ötletétől a működő első egységig ([OL3](#), [Finnország](#)) jutott. Ez alapján is az a valószínűbb, hogy évtizedekbe telne, amíg egy-egy SMR-típus elméleti terveitől a modulgyártás operációs rendszeréig eljutunk. Az SMR-eknek viszont nincs ennyi idejük, hogy az ígért hatásukat bizonyítsák - mert ha az éghajlatváltozásról beszélünk, akkor az idő a lényeg.”

Bill Gates ...

Amikor az Energiaklub tavaly először megjelentette az [“Atomerőművek építés alatt”](#) munkacímű tanulmányát, annak második részében egy külön fejezetet kapott a magyar sajtóban Bill Gates atomerőműveként hivatkozott [TerraPower projekt](#). Az ígéret úgy szólt, hogy 2030 előtt megtörténik a [nátriumhűtéses reaktor](#) kifejlesztése, megépítése - és így annak bemutatása a világnak, hogy a nukleáris iparban merre van előre. A témát tavaly a magyar sajtóban az aktualizálta, hogy miután a Nukleáris Energia Intézet (Nuclear Energy Institute, NEI) júniusban tartott gyűlésén Bill Gates, [ismét elmondta](#), hogy „az atomenergia szerepet kell játszania abban, hogy a világ eljusson a nettó nullához”, az angolszász sajtó megtudta, hogy Gates és Warren Buffet [üzletileg egy hajóba szálltak](#), és Wyomingba vitték az első demonstrációs erőműépítés helyszínét. A szenzációként tált hír óta elég nagy a csend: Bill Gatestől csak [egy integetésre tellett januárban](#), amikor a szénbánya helyébe lépő atomerőmű helyét a 2700 lakosú [Kemmerer mellett jelölték ki](#). A TerraPower világmegváltó ötlete az, hogy az atomhasadáskor keletkező hőt nem közvetlenül egy turbina forgatására használják fel, hanem egy tartálynyi olvadt sóba tárolják le. Ez az ötlet valójában nem új, és bár a NEI fórumot [kommentáló](#) Jennifer Granholm (amerikai energetikai miniszter) adta Gates alá a lovat azzal, hogy közölte: az egyszerűbb konstrukcióban, gyorsabban építhető és alacsonyabb költségű atomerőművek a jövő, ezzel azért van egy probléma. Az, hogy a kis méretű atomerőműveket éppen az jellemzi a



legjobban, hogy a miniszter által sorolt peremfelételeket az 1960-as évek óta nem tudják teljesíteni.

[Michael Barnard](#), az alacsony szén-dioxid-kibocsátású technológiákkal és azok politikai kapcsolatával is foglalkozó TFIE ([The Future is Electric](#)) alapítója és fő stratégája 2019-ben az amerikai [Cleantechnika magazinban levezette](#), hogy Bill Gates és a „forradalmian új nukleáris technológián” alapuló TerraPower miért nem tudja elérni a kitűzött célokat. „Még ha a Terrapower-nek sikerül is kiépítenie egy olyan termelési formát, amely sikeresen és megbízhatóan képes alacsony szén-dioxid-kibocsátású villamos energiát táplálni a hálózatba, hihetetlenül alacsony az esély arra, hogy mindez olcsóbb lehet a 2030-ra prognosztizált, 20 dollár megawattontkénti áron termelni képes megújuló energiával szemben” - írta Barnadr, hozzátéve, hogy bár Gates forradalminak állítja be a „találmányát”, de azt, hogy az atomenergia az energiamix centruma, s hogy a megújuló energiaforrások nem biztos, hogy elegendőek lehetnek a kiváltásukra, a 2010-es évek végére egy idejétmúlt felfogássá vált. „A megújuló energiaforrások képezik az eszköztár központi részét. Az atomenergia nem alkalmas a feladatra. Bill Gates rossz emberekre hallgat” - írta a szakember.

A nátrium hűtéses technológia valójában már a hadiiparnak is tetszett: az 1950-es években élesben tesztelte a technológiát az amerikai haditengerészet, miután a GE nukleáris laborjából kikerülő mini atomerőművet beépítették a [USS Seawolf \(SSN-575\)](#) atomtengeralattjáróba. A rendszer azonban a teszteken megbukott, főként a szabályozással és a teljes terheléssel voltak problémái, így a sóoldatos technológiát inkább hagyományos vízűtéses reaktorra cserélték. (Az megint más kérdés, hogy a NAVY 1959 áprilisában a USS Seawolf reaktortartályát és reaktortelepi alkatrészeit egyszerűen [az Atlanti Óceánba süllyesztette](#) Marylan partjaitól alig 150 kilométerre. A 3000 méteres mélységbe „elrejtett” csomagot a haditengerészet 1980-ban sikertelenül próbálta meg kihalászni és semlegesíteni, így jelenleg is csak reménykedni lehet abban, hogy a konténeren belül lévő radioaktív anyagok hamarabb lebomlanak, minthogy a konténer kilyukadna.)

Bill Gates TerraPower-je valójában a teljesítménye (345 MW) miatt nem is fér be klasszikusan az SMR kategóriába, de van vele más probléma is. A The Bulletin 2021 márciusban Frank N. von Hippeltől [közölt egy hosszú írást](#), amit azért érdemes komolyabban venni másoknál, mivel a professzor több mint 30 éve foglalkozik hasadóanyag-politikai kérdésekkel. Márpedig szerinte Bill Gates terve nem csak költséges, de óriási biztonsági kockázatot rejt, mivel a technológia a hadiipar számára is kincset érő plutóniumot állít elő. Von Hippel hitelességéhez nem fér kétség, mivel ilyen plutónium-tenyésztő reaktorok között töltötte az egész életét. Szerinte az sem véletlen, hogy az Egyesült Államok mellett Németország, az Egyesült Királyság, Franciaország és Japán is felhagyott korábban az ilyen reaktorok fejlesztésével, pedig összesen már 100 milliárd dollárnál is többet kutattak-fejlesztettek el ezen a területen. A Trump elnöksége idején az Egyesült Államokban újraélesztett projektek közül nem csak a Gates miatt ismertté vált TerraPower problémás a professzor szerint, hanem az Idahóban építeni tervezett „Sokoldalú Tesztreaktor” ([Versatile Test Reactor, VTR](#)) is, mely 300 MW villamos energiát lehet képes leadni, a várható [költségét](#) most 5,6 milliárd dollárra becsülik, ami azonban biztosan nem lesz tartható, ha az átadóra 2026-ban nem kerül sor. Ennél viszont az sokkal aggasztóbb - írta von Hippel, hogy a VTR-be, amely évente majd több mint 300 kilónyi plutóniumot is termelhet, 2020 januárjában a GE-Hitachi Nuclear Energy mellett [Bill Gates Terrapower-je is beszállt](#). A már ma is működő nátriumhűtéses (avagy: gyors neutronos) orosz és kínai tenyészreaktorok elsődleges célja sem az áramtermelés, és az ilyen projektek elszaporodása valójában ezért rejt magában örült nagy veszélyeket.

... és a tudósok

A jellemzően a világot nem Európa, Kína vagy az Egyesült Államok perspektívájából, hanem Latin-Amerika, Afrika és a Kínán túli Ázsia szemszögéből vizsgáló Science & Development ([SciDev.net](#)) még jóval a sűrűsödő SMR-hírek hulláma előtt megjelentetett egy cikket arról, hogy a kis moduláris reaktorok vajon milyen hatással lehetnek a klímaváltozásra. Az indiai szerző [úgy látta](#) 2021 augusztusában, hogy az SMR technológia tömeggyártás-éretté fejlődése előtt a klímavédelem és a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésének általános érvényű



kötelezővényei miatt is sokkal kevesebb az akadály, mint korábban, azonban az atomenergiába vetett bizalom Fukusima, a nukleáris fegyverektől való félelem és az atomhulladék kezelésével összefüggő problémák miatt megrendült. Az Újdelhiben működő Jawaharlal Nehru Egyetemen energetikai tanulmányokat oktató [Nanda Kumar Janardhanan](#) ehhez annyit tesz hozzá, hogy miként a hidrogén lehet a közlekedés és az ipar következő korszakának üzemanyaga, úgy az SMR-ek jelenhetik a megoldást a tiszta energiára átállni kívánó, koncentráltan hő-, illetve villamos energiát kívánó országok számára. Ráadásul szerinte a két terület között átjárás is lesz, mert, ha a hidrogén iránt a kereslet növekszik, annak előállításához is az SMR-technológia lehet az energiaellátó egység.

A félreértések elkerülése végett érdemes azt itt rögzíteni, hogy India atomerőmű nagyhatalom. Jelenleg 22, többségében [CANDU típusú](#) nukleáris blokk termel az országban, hivatalosan 2030-ig ezt a számot [majdnem megdupláznak](#), és a 21 új egységből [hat már építés alatt](#) áll. Utóbbiak között van a Kalpakkamban épülő, 500 MW teljesítményre képes gyorstenyészítő reaktor prototípusa (Prototype Fast Breeder Reactor, [PFBR](#)) is, amely bár [jelentős késésben van](#) az eredeti tervekhez képest, [az üzembe helyezését ez év októberére ígérik](#). Ha ez sikerül, az illetékes minisztérium (DAE) az évtized végéig akár 10 további PFBR-t is építtethet Indiában. A kontinens méretű országban nagy mennyiségben rendelkezésre állítható tóriumra teszik fel a nukleáris ipar fejlesztésének jövőjét. Az [India Energy Forum](#) egyik tavalyi webináriumát kifejezetten az SMR-eknek szentelték. Itt [Sunil Ganju](#), a kormány nukleáris ellenőrzési és tervezési részlegének tagja arról is beszélt, hogy a PFBR is a kis reaktorok közé sorolható.

Más kategorizálás szerint ez a projekt - ahogyan a hasonló technológiájú [orosz Bilibino atomerőmű](#) és [kínai Shidao Bay](#) is -, elsősorban nem energetikai, hanem katonai célú, és inkább plutóniumtermelésre szolgál. A PFBR-ek („indiai SMR-ek”) optimista jövőképét azonban nem csak ezért nem osztja mindenki. [MV Ramana](#), a Princeton Egyetem Nukleáris Jövő Laborjának fizikusa szerint például “az emberiségnek nincs ideje kis moduláris reaktorokba fektetni”, mert az éghajlati problémák annál sokkal sürgetőbbek, minthogy 10-15 évig még várni kelljen az emberiségnek a megoldásra. Ramana, aki az atomenergiával kifejezetten az éghajlatváltozás és a nukleáris leszerelés összefüggésében foglalkozik, úgy látja, hogy nem reális elképzelés, hogy az SMR technológia jelentős mértékben csökkenteni lenne képes a szén-dioxid-mentes villamosenergia-rendszerre való gyors átállás szükségességét.” A tudós a *Bulletin of the Atomic Scientist*-ben 2021 nyarán [azzal érvelt](#), hogy bár az atomipar fogadkozik, hogy az SMR technológia kidolgozása és az egységek egyre nagyobb szériában gyártása majd csökkenti az egységnyi költségeket, ám ez a módszer a nukleáris iparra eddig még sosem érvényesült, sőt, ennek ellenkezője valósult meg. Vagyis: minél később épült egy atomerőmű, fajlagosan az annál drágább lett. Ramana úgy látja, hogy mivel az SMR egy új, nagyon komplex technológiára épülő ígéret, újabb és újabb tételek fognak kiderülni ezzel kapcsolatban, melyekre jellemzően a többletköltséggel építés lesz a válasz.

Ami az olcsóbb üzemeltetést illeti: az oroszok hiába mutattak be erre vonatkozóan [ígéretesnek titulált elképzeléseket](#) 2016-ban, azokból egyrészt máig nem lett semmi kézzelfogható, másrészt Oroszország Ukrajna elleni háborúja miatt az orosz ipar és technológia hosszú időre negligálva-szankcionálva lehet a világban. Pláne így lesz - tette hozzá a tudós -, mivel a kis és közepes reaktorprojektekre már most az a jellemző, hogy több kis reaktormodulból álló klasztereket terveznek magukba foglalni, ami viszont egyrészt a technológia univerzális terjedésének gátja, másrészt viszont: minél több plutónium és/vagy dúsított uránforrás kerül egy-egy területre, az annál inkább kedvez az atomfegyverek előállíthatóságának. “Aki hozzáfér ezekhez az anyagokhoz, az sokkal közelebb van az atomfegyverhez” - közölte Ramana. Ehhez pedig csak hozzáadódik az a probléma is, hogy a kisméretű atomerőművek is termelnek majd nukleáris hulladékot, amelynek elhelyezése és biztonságos kezelése továbbra is megoldásra váró feladat az emberiség számára.

Charles Mandelt, a kanadai Observer több mint 25 éve klímaváltozással foglalkozó riporterét [idézte](#) azonban egy dolgot soha nem lehet elégszer hangsúlyozni: azt, hogy „egyelőre az SMR-ekkel kapcsolatos minden elképzelés nagyrészt csupán törekvés”.