

# A KÍNAI ATOMENERGIA-IPAR FEJLŐDÉSE IV. – ÜZEMANYAG-ELLÁTÁS ÉS A KIÉGETT ÜZEMANYAG FELDOLGOZÁSÁRA VONATKOZÓ FEJLESZTÉSEK

*Kirchkeszner Csaba, Dr. Hugyecz Attila – 2021. augusztus 17.*

Az Elemző percek jelen számában folytatjuk annak vizsgálatát, hogy Kína megérett-e már arra, hogy a világ új atomerőműtechnológia-szállítójává váljon. Ezúttal **Kína nukleárisüzemanyag-gyártási képességeit vesszük górcső alá, és röviden kitérünk az üzemanyagciklus záró szakaszára vonatkozó kínai fejlesztésekre is.** Tesszük mindezt azért, mert egy atomerőműtechnológia-fogadó ország alapvetően nemcsak az atomerőmű megépítését várja el a technológiaszállítótól, hanem az üzemanyag reaktorspecifikus jellege miatt az üzemanyag szállítását is, sőt, adott esetben a kiégett üzemanyagok visszavételét is örömmel venné. Érdemes ezért röviden áttekinteni, Kína hogy áll ezeken a területeken.

## A nukleáris üzemanyagciklus nyitó szakasza

Emlékeztetőül leírjuk, hogy az atomerőművek üzemanyagának előállítására négy fő lépésből áll: (1) uránbányászat, őrlés és kioldás ( $U_3O_8$ ), (2) kémiai konverzió ( $U_3O_8 \rightarrow UF_6$ ), (3) izotópdúsítás ( $^{235}UF_6$ ), (4) üzemanyag-pasztilla, -pálca- és -kazetta-gyártás<sup>1</sup>. Ezek közül az első három, **az urán, a konverziós és az urándúsítási szolgáltatások a világpiacon könnyedén beszerezhetők. Az elmúlt években e három területen inkább kínálati piacról beszélhettünk, vagyis inkább kihasználatlan bányászati, konverziós és dúsítási kapacitásokról szóltak a hírek.**

## Kína uránforrásai

A 2019. évi adatok szerint Kína mintegy **344 000 tonna uránkészlettel** rendelkezik, mindez 13 kínai tartomány összesen 23 lelőhelyén található. A bányászat a '60-70-es évek fellendülése után alábbhagyott, és csak 2000-es évek elején, a kínai atomerőmű-építések előtérbe kerülésével és a növekvő világpiaci uránárakra válaszul kezdett újra fellendülni. Az elmúlt években **a kínai urántermelés évi 1600 tonna urán körül ingadozott, a felhasználás folyamatosan és gyorsan bővül, 2020-ban 9000-9400 tonnát tett ki, vagyis az ország érdemi uránimportra szorul.**

Világpiaci beszerzéseivel Kína az ellátás biztonságának garantálására az elmúlt években jelentős mennyiségű uránt halmozott fel. **2010–2020 közötti importja mintegy 221 ezer tonnát ért el.** A kínai energiapolitika célja az, hogy az ország uránigényeinek nagyobb részét hazai termelésből, vagy kínai tulajdonban lévő külföldi bányákból, fennmaradó részét pedig a világpiacról elégítsék ki. Ennek fényében **kínai bányavállalatok Nigerben, Namíbiában, Kazahsztánban, Üzbegisztánban és Kanadában több uránbányában is rendelkeznek részesedéssel. 2019-ben a két legnagyobb kínai uránkitermelő társaság (a CNNC és a CGN) Kínában és külföldön együttesen mintegy 7800 t uránt termelt.**

A korábbi években Kínában a kitermelt urán kb. kétharmadát nem hagyományos mélyművelésű bányászati eljárással, hanem *in-situ savas* kioldással nyerték ki homokkőből. Mivel **a kínai uránkészletek több mint fele homokkőben található,** ezért Kínában a 2000-es évek óta fejlesztés alatt áll egy másik *in-situ* kinyerési technológia is, ez az ún. **O<sub>2</sub>–CO<sub>2</sub> alapú in-situ extrakció.** Ennek lényege, hogy O<sub>2</sub> és CO<sub>2</sub> gázt pumpálnak az urántartalmú homokkőbe, az oxigén erős oxidálószerként az uránt vízben jobban oldódó uránvegyületté oxidálja (4-értékű uránból 6-értékű urán keletkezik), s a CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O reakciójakor képződő hidrogén-karbonátok segítik elő az uránvegyületek kioldását a kőzetmátrixból. Ezt követően az urántartalmú, folyékony halmazállapotú extraktumot további feldolgozás érdekében szivattyúkkal hozzák a felszínre.

---

<sup>1</sup> A dúsítást a valóságban követi még egy kémiai rekonverzió ( $UF_6 \rightarrow UO_2$ ), de ezt nem szokás külön lépésként feltüntetni.

## Konverziós és urándúsító kapacitások Kínában

A kínai konverziós kapacitásokra vonatkozó adatok bizonytalanok. Kína vélhetően legalább két konverziós üzemmel rendelkezik, és több másik megépítése is napirenden szerepel. Mindamellett, a konverziós szolgáltatás a világ több országából is megvásárolható, és ebben az elmúlt években jelentős túlkínálat volt.

A dúsított urán szintén megvásárolható a világpiacon, ugyanakkor Kína több urándúsító üzemmel is rendelkezik. 1997–2000 között és 2011 közepére az orosz TENEX szállított jelentős urándúsító kapacitásokat Kínába (Hangzhun projekt, több fázis, összesen 1 millió SWU/év, separative work unit<sup>2</sup>). **A 2010-es évek elejére Kína saját gázcentrifugákat is kifejlesztett, így 2012–2014 között ez az üzem kínai centrifugatechnológiával bővült (+1,2 millió SWU/év).** További kínai dúsítóüzemek szintén orosz és kínai technológiával épültek meg (Lanzhou, Plant 814, Emeishan), melyek együttvéve ma még nem fedezik a teljes kínai igényeket, ugyanakkor a kínai tervek egyértelműen az önellátásra való berendezkedés irányába mutatnak. **A világpiacon Kína az egyetlen ország, mely a következő két évtizedben urándúsító kapacitásainak jelentős mértékű bővítését tervezi.**

## Üzemanyag-kazetták gyártása

Amíg az uránérc, az uránkonverziós eljárások során kapott uránvegyületek (pl. urán-hexafluorid, UF<sub>6</sub>) és az urándúsítás nem reaktorspecifikusak, addig az üzemanyag-pálcák és -kazetták kialakítása, konfigurációja aszerint történik, hogy később milyen típusú atomreaktor aktív zónáját fogja képezni. Az üzemanyagkazetta-gyártás nagy szakudást igénylő, szigorú technológiai előírások mentén folytatott műveletek sorozata, és a pontos gyártási eljárás sokszor az adott vállalat féltett üzleti titka. A kínai exporttörekvések potenciális jövőbeni sikere szempontjából ezért meghatározó, hogy Kína rendelkezik-e atomerőműbe szánt üzemanyag-kazetták gyártásának képességével, e nélkül ugyanis a kínai atomerőműexport-törekvések minden bizonnyal kudarcra lennének ítélve. Ma a kínai atomerőművi üzemanyagigény évi kb. 1800 t uránt tartalmazó kazettamennyiséget tesz ki.

Kína nyomottvízes reaktorok számára üzemanyagot gyártó legfontosabb üzemanyaggyára **Yibin** városában működik, és egy 1965-ben létesített katonai nukleáris létesítmény alapjain jött létre 1982-ben. Az **üzemanyaggyár** ekkor Kína első atomerőműve, a **CNP-300-as kínai reaktorral szerelt Quinshan-1 számára kezdett nukleáris üzemanyagot gyártani. Az üzem ma CNP-300-as, CNP-600-as, CPR-1000-es és Hualong One reaktorokba is gyárt üzemanyagot.** Miután a Tianwan atomerőmű VVER-reaktorainak üzemanyag-szállítási szerződésében **a TVEL átadta az üzemanyag-gyártási technológiát a kínai félnek (technológiatranszfer), a Yibin városi üzem 2009 óta VVER-1000-es reaktorokba is gyárt kazettákat (1. táblázat).**

A másik nagy kínai nukleárisüzemanyag-gyár **Baotou**-ban, Belső Mongólia tartományban található, 1998-ban kezdte meg működését, és szintén egy korábbi katonai célú létesítmény alapjain jött létre. A gyár mára komoly K+F-bázissá is vált, melyben a legkülönbözőbb típusú üzemanyagok gyártása folyik. Készül itt jelenleg a **CANDU és AP1000-es típusú reaktorokba üzemanyag, gyártanak itt régebbi típusú nyomottvízes reaktorokba kazettákat, és 2016 óta ez az üzem gyártja a kínai magas hőmérsékletű, héliumhűtésű reaktorba szánt gömb alakú üzemanyagot is** (a HTR-PM<sup>3</sup> reaktor a Shidao Bay projektben épül). Az üzem modern atomerőművi üzemanyag-kazetták gyártására való felkészítésében az Areva működött közre, 2011-2017 között pedig a Westinghouse tervezett, gyártott és helyezett itt üzembe AP1000-es üzemanyagok gyártására szolgáló technológiai sorokat.

Kína az atomerőművi üzemanyagok beszerzése érdekében nemrégiben kapcsolt ügyletet is hajlandó volt kötni: a 2010-es évek közepén egy kazah uránkitermelő vállalat 49%-os részesedésének megvásárlását egy 2021 elejére megvalósult olyan kazahsztáni telephelyű üzemanyaggyár létesítésével kötötte össze, mely **20 éven keresztül Kazahsztánból szállít üzemanyag-kazettákat kínai atomerőművekbe.**

<sup>2</sup> Separative Work Unit (szeparációs munka-egység): egy adott dúsító dúsítási kapacitásának jellemzésére – adott technológia és dúsítási paraméterek mellett – definiált mértékegység.

<sup>3</sup> High Temperature Gas Cooled – Pebbled-Bed Reactor (4. generációs)

**1. táblázat:** A kínai atomerőműveket kiszolgáló nukleáris üzemanyaggyártó kapacitások

Elhelyezkedés (város, tartomány)	Vállalat	Reaktor- típus	Éves kapacitás
			(t/év)
Yibin, Szecsuán	Jianzhong Nuclear Fuel, China Nuclear Fuel South	PWR-ek	800
		VVER-1000	100
Baotou, Belső Mongólia	China Nuclear Fuel North	CANDU	200
		PWR-ek	200
Baotou, Belső Mongólia	CNNC Baotou Nuclear Fuel Company Ltd	AP-1000, CAP stb.	800
Baotou, Belső Mongólia	INET (?)	HTGR	Évi 300 000 db gömb alakú üzemanyag
Oskomen, Kazahsztán	Ulba-FA (CGN & Kazatomprom)	PWR	200

Üzemanyagkazetta-gyártás terén tehát Kína hazai gyártóbázisokat épített ki, és a legtöbb Kínában működő atomerőmű-típus számára, így az AP1000, a VVER-1000, a CANDU, a kínai reaktorok, köztük az exportra szánt Hualong One reaktortípus számára is saját maga gyártja az üzemanyagot. E téren képességei igazán szerteágazóak.

### A nukleáris üzemanyagciklus záró szakasza

Egy potenciális technológiafogadó ország igényt tarthat arra is, hogy a technológia szállítója az atomerőműben keletkezett kiegészítő üzemanyagot visszavegye, ezért röviden érdemes kitérni Kína ez irányú, a kiegészítő üzemanyag reprocessálására vonatkozó képességeire, és az üzemanyagciklus zárására is.

A reprocessálás terén elmondható, hogy a 2010-es évek elején Kínában megépült egy, a PUREX<sup>4</sup> eljárásra épülő pilot reprocessáló üzem, valamint építés alatt áll egy évi 200 tonna kiegészítő üzemanyagot feldolgozni képes üzem is. Napirenden van mindemellett, hogy Kína a francia Areva-val működne együtt egy francia technológián alapuló, 15 milliárd euró beruházási költségű, ipari méretű reprocessáló üzem létesítésén is, de a projekt megkezdése évek óta húzódik. **A kínai reprocessálásról így összességében elmondható, hogy egyelőre nem halad, Kínának ipari méretű reprocessáló üzeme nincs.**

<sup>4</sup> PUREX: **P**lутonium and **U**ranium **R**ecovery by **E**xtraction.

A gyorsneutronos reaktorok kutatásában a távol-keleti óriás sokkal jobban áll. Az orosz Afrikantov Intézet a 2000-es évek elején a Hidropress-szel és a Kurcsatov Intézettel együttműködve Peking mellett (a Kínai Atomenergetikai Intézetben) megépítette Kína első, kísérleti gyorsneutronos reaktorát, a **65 MW<sub>th</sub> teljesítménnyel rendelkező CFR-t** (Chinese Experimental Fast Reactor<sup>5</sup>). Ma már épül ennek demonstrációs célú változata is, az 1500 MW<sub>th</sub>, 600 MW<sub>e</sub> teljesítményű, 41% hatásfokkal rendelkező **CFR-600** (Xiaou-1 projekt), melynek építése 2017-ben kezdődött meg. Egy 2018. évi kínai-orosz államközi szerződés alapján **az orosz Roszatom csoport tagjai e blokk építésében is közreműködnek**. A TVEL üzemanyaggyártó e projekt keretein belül 7 évnyi üzemeltetéshez elegendő MOX üzemanyag<sup>6</sup> szállítására kapott megrendelést. Várhatóan a 2030-as években üzembe léphet a CFR-600-as továbbfejlesztéséből előálló CFR-1000-es blokk is. Fejlesztői ezt már kereskedelmi célú atomerőművi működésre tervezik.

Mindezek alapján elmondható, hogy a legfejlettebb kínai atomerőmű-technológia, a Hualong One potenciális befogadónak nem kell tartaniuk attól, hogy Kína ne lenne képes a reaktorhoz nukleáris üzemanyagot szállítani. A távol-keleti óriás **komoly tudással és tapasztalattal rendelkezik a nukleáris üzemanyaggyártás terén: több blokk típushoz, így Candu-hoz, VVER-1000-hez, AP1000-hez és az összes kínai technológiájú reaktorhoz, így az exportra szánt Hualong One-hoz is képes üzemanyagot gyártani. Az üzemanyagciklus záró szakaszát illetően Kína nem élenjáró**, ipari méretű reprocesszáló üzemei nincsenek, **azonban a gyorsneutronos reaktorok fejlesztésében elért eredményei nagyon is biztatóak**. A kiegészítő üzemanyagok visszavételi hajlandóságáról nem találtunk nyilvánosan elérhető információkat, de ettől Kína a reprocesszálási képességeinek alacsony szintje miatt vélhetően még vonakodik.

---

<sup>5</sup> A reaktor nátriumhűtésű, primerköri melegégi hőmérséklete 530 °C, a szekunder oldali gőzhőmérséklet 480 °C.

<sup>6</sup> MOX: **M**ixed **O**xide, kevert, U- és Pu-oxidot is tartalmazó