

Az uránpiac helyzete és kilátásai

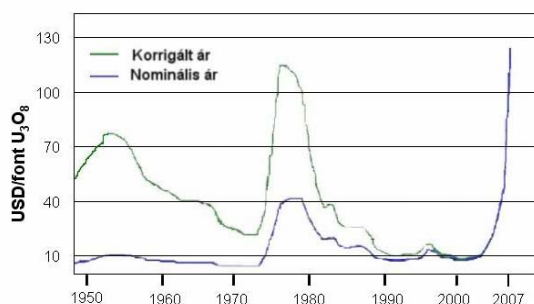
Dr. Pázmándi Tamás, Bodor Károly

Magyar Tudományos Akadémia KFKI Atomenergia Kutatóintézet
1121, Budapest, Konkoly Thege Miklós út 29-33.

A XXI. század első felében a nukleáris energiatermelés várható expanziójával párhuzamosan az uránérc ára folyamatosan növekedni fog. Az atomenergia jövője szempontjából fontos tényező az uránérc, illetve a fűtőelemek világszertei árának alakulása, amit nagymértékben befolyásol az alkalmazott bányászati, dúsítási, fűtőelemgyártási technológiák fejlődése és elterjedése. Jelen cikk bemutatja a nukleáris üzemanyagciklus elejének lépéseit, áttekintést nyújt az uránpiac nemzetközi helyzetéről és a következő években várható változásairól.

Az urán-oxid árának alakulása

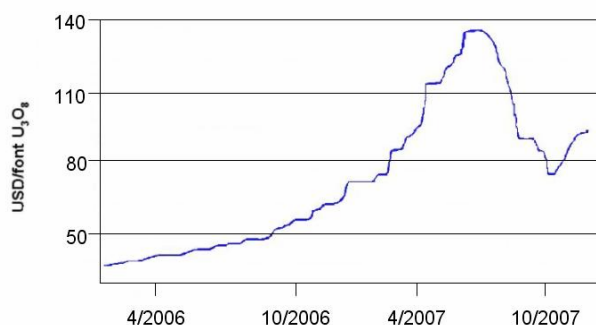
Az 1. ábra az urán-oxid piaci árának alakulását mutatja, az összehasonlíthatóság érdekében a nominális ár mellett a 2007-es szintre korrigált árakkal együtt. Az 1970-es évek végén az urán-oxid (U_3O_8) tőzsdei ára a 2006-os árhoz hasonlóan magas volt, jelenértékre átszámolva elérte a 115 USD/fontot. Az 1980-as évek második felében az ár visszaesett az 1970-es év árszintjére, az árzuhanáshoz a hidegháború vége, az úgynevezett másodlagos források megjelenése és az atomenergia támogatottságának csökkenése is hozzájárult.



1. ábra: Az urán-oxid piaci árának alakulása az elmúlt 60 évben [1]

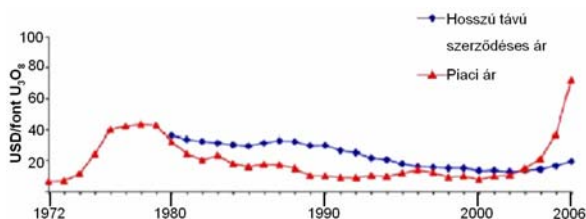
Az ár 2003 óta ismét folyamatosan emelkedik, a csúcspont (135 USD/font) 2007 júliusában érte el, majd az év végére 80 dollár alá esett, jelenlegi ára (2008. február 21.) 75 USD/font (2. ábra). Piaci elemzők szerint a közeljövőben az uránérc drágulása tovább folytatódik, amiben a nukleáris ipar

reneszánsza, illetve más nyersanyagok (kőolaj, földgáz) drágulása is szerepet játszik.



2. ábra: Az urán-oxid árának alakulása 2006-2007-ben [1]

A tényleges ár az előállítási költségen kívül, amit alapvetően a bányászati feltételek szabnak meg, jelentősen függ attól, hogy az üzlet hosszú távú szerződés vagy tőzsdei kereskedés keretében valósul-e meg. Az urán-oxid döntő hányadát hosszú távú szerződések keretében értékesítik, ekkor az ár elsősorban a felmerülő költségek, a szerződéskötés idején érvényes piaci kereslet-kínálat és az árak hosszú távú alakulására vonatkozó becslések függvénye. Emiatt a hosszú távú szerződéses ár nem követi közvetlenül a tőzsdei ár változásait, melynek kialakulásában a pénzügyi, tőzsdei spekulációnak is meghatározó szerep jut. Az árak eltérő viselkedése jól látható az elmúlt évek adatai alapján, a hosszú távú szerződéses árak nem követték közvetlenül a tőzsdei árak rohamos emelkedését (3. ábra).

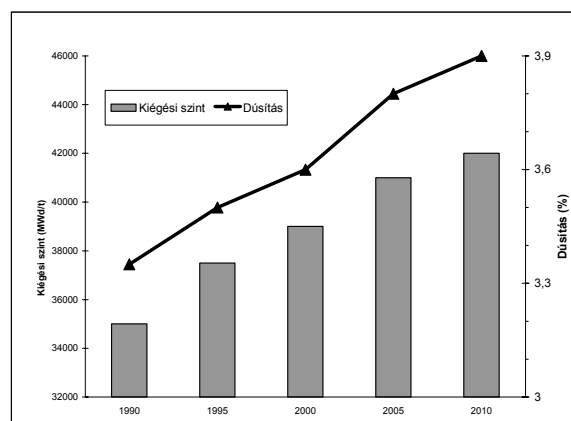


3. ábra: Az urán-oxid árának alakulása (1972-2006) [2]

A kereslet jellemzői

A nukleáris üzemanyagok iránti keresletet alapvetően az atomerőművek beépített teljesítménye, azok típusa és kihasználási tényezője határozza meg. A világon jelenleg üzemelő 435 reaktor kapacitása összesen 370 GW, ezek üzemeltetése közelítőleg 78,5 ezer tonna urán-oxidot igényel évente, melynek urántartalma 66,5 ezer tonna. A folyamatosan növekvő villamosenergia-igények kielégítése érdekében az erőművek teljesítményét és kihasználási tényezőjét növelik, ami általában együtt jár a hatások, a dúsítás és a kiegészi szint fokozatos emelésével (4. ábra). Ennek hatására az elmúlt két évtizedben 25%-kal csökkent a reaktorok uránigénye egységnyi megtermelt villamos energiára vetítve. A folyamatosan növekvő energiaigények miatt ugyanakkor új reaktorokat is üzembe állítanak,

melyek ezer megawattónként 195 tonna uránt igényelnek évente.



4. ábra: A kiegészi szint és a dúsítás fokának alakulása (1990-2010) [1]

Egy 1000 MW beépített teljesítményű atomerőművi blokk uránigényét mutatja az 1. táblázat, 4%-os dúsítás mellett. A számítások során feltételeztük, hogy a kibányászottérc urántartalma 1%, valamint a dúsítás során visszamaradó szegényített urán U-235 tartalma 0,25%.

1. táblázat 1000 MW teljesítményű atomerőművi blokk éves uránigénye, villamosenergia-termelése és a nukleáris üzemanyagciklus során keletkező kiegészi fűtőelem mennyisége [2]

Bányászat	20 000 tonna 1%-os uránérc
Finomítás	230 tonna 85%-os urán-oxid (U_3O_8) (195 t U tartalom)
Konverzió	288 tonna UF_6 (195 t U tartalom)
Dúsítás	35 tonna UF_6 (24 t dúsított U)
Fűtőelem gyártás	27 tonna UO_2 (24 t dúsított U)
Villamosenergia-termelés	7 000 000 MWh villamos energia
Kiegészi fűtőelem	27 tonna, ebből 23 t reprocesszálható urán (0,8% U-235), 240 kg plutónium, 720 kg hasadási termék és egyéb transzurán

Uránkészletek

Az urán különböző koncentrációban ugyan, de a Föld minden pontján megtalálható. A talajban az átlagos koncentráció 3-5 g/t és a tengerek és az óceánok vizének minden köbméterében is található körülbelül 5 mg urán. A Földön vannak olyan helyek, ahol a koncentráció ennél az átlagos értéknél sokkal magasabb. Az uránérc kitermelése a földkéregből általában akkor kifizetődő, ha az urán-koncentráció eléri a 500-5000 g/t értéket. Az urán esetenként arany és rézércel közösen fordul elő, ami a kitermelést még gazdaságosabbá teheti.

A felkutatottság mértéke szempontjából az uránforrások három csoportba sorolhatók:

Bizonyított források (Reasonably Assumed Resources – RAR): a nyilvántartások alapján a jelenleg gazdaságosan kitermelhető uránérc mennyisége 4,7 Mt, ami legalább 70 évig fedezi a szükségleteket. A lelőhelyek földrajzi eloszlását a 2. táblázat mutatja.

Becsült források (Estimated Additional Resources – EAR): a geológiai mérések és a földtani képződmények folytonosságára alapján további 10 Mt uránérc becsülhető.

Elméleti források (Speculative Resources – SR): a felderített források ismeretlen folytatásai és a még egyáltalán nem felderített források egy része a remények szerint szintén gazdaságosan kitermelhető. A kőzetekben uranitit, urán-szurokérc formában, valamint másodlagos ásványként fordul elő, de a tengervíz is jelentős mennyiségű uránt tartalmaz – igen kis koncentrációban (4000 Mt).

A kitermelés költsége alapján szintén három kategória különböztethető meg: 40 USD/kg alatt, 40 és 80 USD/kg között, valamint 80 USD/kg felett. Napjainkban akkor gazdaságos a kitermelés, ha a költségek nem haladják meg a 40-50 dollárt kilogrammonként.

A bizonyított készletek mennyisége is változik évről-évre, például Ausztráliában az elmúlt évek során végzett kutatások eredményeként a bizonyított urán források egy év alatt 30%-kal, 953 ezer tonnára növekedtek. Ha ehhez a becsült forrásokat is hozzáadjuk, Ausztráliában 1,53 Mt – 80 USD/kg áron kitermelhető – urán áll rendelkezésre.

Emellett, mivel a gazdaságosan kitermelhető uránérc más ércekhez hasonlóan viselkedik, a piaci árak megduplázódása esetén a gazdaságosan kinyerhető források mennyisége akár tízszeresére is emelkedhet.

Uránérctermelés

Az atomreaktorok uránigényének 65%-át közvetlenül a bányászott uránérc fedezi. 2006-ban a bányák közel 40 ezer tonna uránércet termeltek, a világ legnagyobb urántermelői Kanada, Ausztrália és Kazahsztán, és ugyanitt találhatóak a legnagyobb készletek is (2. táblázat).

2. táblázat Az uránérc termelés és a készletek megoszlása országoként [2]

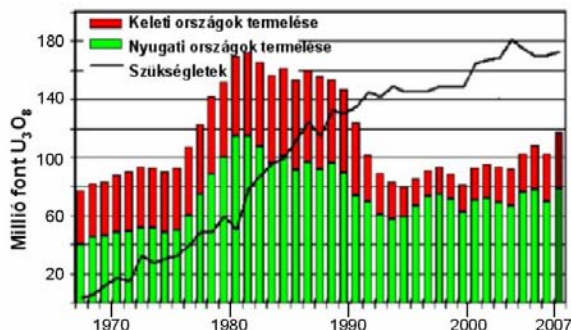
	Uránérc termelés országoként [tonna U ₃ O ₈]					Bizonyított uránérc készletek, melyek kitermelési költsége kevesebb, mint 80 USD/kg (2005)	
	2002	2003	2004	2005	2006	[tonna U ₃ O ₈]	Részesedés [%]
Kanada	13 681	12 329	13 673	13 709	11 627	444 000	9
Ausztrália	8 081	8 927	10 590	11 219	8 952	1 558 000	24
Kazahsztán	3 301	3 891	4 385	5 137	6 224	81 600	17
Niger	3 625	3 706	3 869	3 647	4 049	225 000	5
Oroszország	3 419	3 714	3 773	4 045	3 846	172 000	4
Namíbia	2 751	2 400	3 582	3 710	3 616	282 000	6
Üzbegisztán	2 193	1 884	2 377	2 712	2 665	116 000	2
USA	1 084	918	1 035	1 225	1 971	342 000	7
Ukrajna	943	943	943	943	943	90 000	2
Kína	861	884	884	884	884	60 000	1
Dél-Afrika	971	894	890	795	630	341 000	7
Brazília	318	365	354	130	224	279 000	6
India	271	271	271	271	209	67 000	1
Csehország	548	533	486	481	423		
Románia	106	106	106	106	106		
Németország	250	177	177	91	59	287 000	9
Pakisztán	45	53	53	53	53		
Franciaország	24	0	8	8	6		
Összesen	42 518	41 988	47 456	49 167	46 487	4 743 000	100

Az 5. ábrán az urán-oxid termelés és a szükségletek alakulása látható. Megfigyelhető, hogy az elmúlt években az igények jelentősen meghaladták a bányászott mennyiséget, elsősorban a keleti országokban – többek között a volt szocialista országokban – esett vissza a kitermelés volumene. Az igényeket az úgynevezett másodlagos forrásokból elégitették ki.

Másodlagos források

A bányászott uránérc mellett az úgynevezett másodlagos források biztosítják az urán iránti kereslet kielégítését, jelenleg az igények 35%-át fedezik. A másodlagos források egy részét a kiégett fűtőelemekben található hasadóanyagok – elsősorban urán és plutónium izotópok – adják, melyeket a fűtőelemek újrahasznosítása, reprocessálása során

nyernek ki. A másodlagos források közé tartozik emellett a leszerelt nukleáris fegyverek urán és plutónium tartalma, az újra dúsított szegényített urán, valamint a polgári célú tartalékkészletek.



5. ábra: Urán-oxid termelés és szükségletek (1967-2007) [1]

Az Egyesült Államok és a Szovjetunió által a hidegháború végén kötött nukleáris leszerelési egyezmények végrehajtása során nagy mennyiségű erősen dúsított urán és plutónium kerül ki a szétszerelt robbanófejekből. A katonai és polgári alkalmazásokban használt, erősen dúsított uránt természetes uránnal vagy a fegyvergyártás melléktermékeként visszamaradt szegényített uránnal keverve, az atomerőművi reaktorokhoz használható, alacsony dúsítású uránt állítanak elő. A „megatonnából megawattot” program keretében Oroszországban közel 500 tonna erősen dúsított uránt hígítanak több mint 15 ezer tonna 4,4%-os dúsításúra, az ezekből készített fűtőelemeket atomerőművekben használják fel. Az Egyesült Államokban 174 tonna erősen dúsított uránt alakítanak át a program keretében.

3. táblázat A másodlagos források %-os megoszlása 2007-ben

Forrás	%
Kiégett fűtőelemek reprocesszálása	2
Nagy dúsítású és szegényített urán keveréke	13
Katonai leszerelésből származó plutónium	< 1
Oroszországi kis dúsítású urán export	6
Felhalmozott (polgári célú) készletek	5
Újrადúsított szegényített urán	8
DOE eladás	0
Másodlagos források összesen	35
Urán bányászat (elsődleges forrás)	65

A leszerelési egyezmények végrehajtása során Oroszországban és az Egyesült Államokban több száz tonna plutónium energetikai hasznosítása is megvalósul. A tiszta plutóniumot oxidálják, majd urán-oxiddal keverik, így jön létre a kevert (urán és plutónium tartalmú) oxid üzemanyag (MOX). Az energiatermelés mellett további előnyt jelent,

hogy a reaktorban a plutónium elhasad, így az a továbbiakban katonai célra nem alkalmazható.

Az Egyesült Államok emellett felvásárolja az orosz fegyvergyártás melléktermékeként visszamaradt szegényített urán egy részét (oroszországi kis dúsítású urán export).

A másodlagos források közé tartoznak ezenkívül a világon felhalmozott polgári célú készletek, az újrადúsított szegényített urán, valamint az USA Energetikai Minisztériumának (Department of Energy - DOE) eladásai: a Paducah-ban működtetett dúsítóban 1953 és 1964, valamint 1969 és 1976 között összesen körülbelül 90 ezer tonna reprocesszált uránt dolgoztak fel, amit a tervek szerint 2008-tól kezdenek el értékesíteni a világpiacon (3. táblázat).

A nukleáris fűtőelem-gyártás lépései

A nukleáris fűtőelemek gyártása több technológiai lépésben történik, zárt üzemanyagciklus esetén a reprocesszálás alkalmazásával a kiégett fűtőelemek hasadóanyag-tartalma is felhasználható energiatermelésre. A fűtőelemek gyártása az alábbi fő lépésekből áll.

Finomítás és konverzió

A kibányászott urántartalmú kőzetet speciális malmokban porrá őrlik, majd kénsavban feloldják. Leszűrrik a kőzet anyagát és az oldatból urán-oxid (U_3O_8) formájában csapják ki az uránt. A sárgás színű port pogácsákká sajtolják, melyet sárga pogácsának, vagy sárga tortának (yellow cake) is hívnak.

4. táblázat A világ legnagyobb konverziós gyárainak kapacitása (ezer t UF_6) [2]

Vállalat (ország)	2007	2010	2015
Cameco (Kanada és Egyesült Királyság)	13,7	15,5	15,5
Areva (Franciaország)	14,0	14,0	15,0
ConverDyn (USA)	12,0	14,0	18,0
Rosatom (Oroszország)	5,0	5,5	10,0
CNNC (Kína)	1,5	2,5	2,5

Izotópdúsítás előtt az urán-oxidot urán-hexafluorid (UF_6) gázzá alakítják át. A természetes fluornak csak egyetlen izotópja (^{19}F) létezik, ezért az UF_6 molekulák tömege csak amennyit térhet el egymástól, hogy bennük ^{235}U vagy ^{238}U izotóp van. A konverzió három lépésből áll, az urán-oxidból először - általában H_2 segítségével - urán-dioxidot állítanak elő, majd HF -ot és F_2 gázt adagolva jutnak el a végtermékig.

A világ legnagyobb konverziós gyárai az atomenergiát nagyarányban felhasználó országokban találhatóak: Kanadában, Franciaországban és az Egyesült Királyságban. A 4. táblázat a világ legnagyobb finomítóinak kapacitását mutatja.

Dúsítás

Urándúsítás során az $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ arányt szeparációs módszerrel növelik. A természetes urán döntően kétféle izotóp elegye: az ^{235}U 0,7%-át, az ^{238}U 99,3%-át teszi ki, a többi izotóp aránya nem éri el a 0,1%-ot. A szeparációs munka-egység (Separative Work Unit, SWU) az üzem dúsítási kapacitását jellemzi adott technológia, illetve dúsítási paraméterek mellett, így az üzemek és a különböző üzemvitelek összehasonlíthatóak. Az SWU értéke a természetes, a dúsított és a szegényített urán dúsítási fokától függ, értéke az alábbi egyenlet alapján számolható:

$$SWU = (2e_d - 1) \ln \frac{e_d}{1 - e_d} + \frac{e_d - e_0}{e_0 - e_s} (2e_s - 1) \ln \frac{e_s}{1 - e_s} - \frac{e_d - e_s}{e_0 - e_s} (2e_0 - 1) \ln \frac{e_0}{1 - e_0} \quad (1)$$

ahol: e_0 a kezdeti, e_d a dúsított, e_s a szegényített urán dúsítási foka. Az 1. egyenlet alapján kiszámolható, hogy például 6 kg uránércből, 1 kg 3%-os ^{235}U előállításához 3,8 SWU szükséges, 0,25%-os szegényített urán mellett. Vagy 6,56 kg uránércből 3,42 SWU befektetéssel lehetséges 1 kg 3%-os ^{235}U előállítása, miközben a szegényített urán 0,3%-os dúsítású lesz.

Az izotópdúsításra több módszert is kifejlesztettek, a két legelterjedtebb a gázdifúziós és a gázcentrifugás eljárás. Közös jellemzőjük, hogy urán-hexafluoridot alkalmaznak és az uránizotópok közötti tömegkülönbséget használják ki. Mivel ezekkel a módszerekkel csak kis hatékonysággal választhatóak szét az izotópok, ezért kaszkád rendszerben több tucat, esetenként akár több száz egységet kapcsolnak egymás után. A difúziós technika energiaigénye jelentősen nagyobb, emiatt az üzemeltetés költségei is magasabbak a centrifugás eljáráshoz képest, így a jelenlegi tervek alapján 2017-re azt teljesen kiváltja a centrifugás dúsítás.

A kitermelt urán-oxid dúsításához elegendő kapacitás áll rendelkezésre a világon (5. táblázat). Az összes dúsítási kapacitás 76 ezer t uránérc dúsítására elegendő, amelyből közelítőleg 12,7 ezer t, 3%-os ^{235}U állítható elő, 0,25%-os szegényített urán mellett.

5. táblázat Urándúsítási kapacitás (2005) [millió SWU-ban] [2]

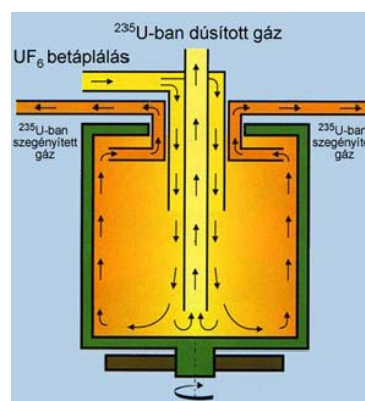
Jelentős vállalatok (ország)	Névleges kapacitás	Technológia
CNNC (Kína)	0,8	gázdifúzió és centrifuga
Eurodif (Franciaország)	10,8	gázdifúzió
JNC (Japán)	0,9	centrifuga
Minatom (Oroszország)	20,0	centrifuga
Urenco (Nagy-Britannia)	7,4	centrifuga
USEC (USA)	8,0	gázdifúzió
Összesen	47,9	

Diffúziós urándúsítás

A gázdifúziós módszer a legelterjedtebb urándúsítási eljárás. A gázmolekulák diffúziósebessége függ a molekula tömegétől, és a kisebb tömegű molekulák könnyebben jutnak át porózus anyagokon. A gázdifúziós egységekben egy maratott fólián (általában alumínium ötvözetten vagy teflonon) keresztül, mesterségesen fenntartott nyomáskülönbség hatására diffundál át az urán-hexafluorid gáz. A membrán másik oldalára nagyobb arányban jutnak át a 235-ös tömegszámú uránizotópot tartalmazó molekulák, így az ott felhalmozódó gáz ^{235}U -ben dúsabb lesz. A dúsított UF_6 -ot a kaszkád egyik végén, míg a szegényített uránt a másik végén távolítják el. A difúziós technológiát jelenleg csak az Egyesült Államokban és Franciaországban alkalmazzák.

Centrifugás urándúsítás

Az eljárást Németországban fejlesztették ki a második világháború alatt, de csak az ötvenes-hatvanas években kezdték el ipari méretekben alkalmazni. Előnye a gázdifúzióhoz képest, hogy hatékonyabban, gazdaságosabban választja szét az izotópokat, ezért kevesebb egységet kell kaszkádba kapcsolni ugyanakkora dúsítás eléréséhez. A centrifugába vezetett UF_6 gázt a nagy sebességgel forgó keverőlapát forgásra kényszeríti. A kialakuló centrifugális erő miatt a nagyobb tömegű ^{238}U -at tartalmazó molekulák a tartály fala felé mozognak, míg a könnyebb, ^{235}U -öt tartalmazó részecskék a centrifuga közepén dúsulnak fel (6. ábra). Napjainkban a világ számos országában (Oroszország, Németország, Japán, Nagy-Britannia, Kína, Franciaország és USA) alkalmazzák ezt a módszert az urán dúsítására.



6. ábra: Az urán izotópdúsítása gázcentrifugálással [5]

Lézeres urándúsítás

A difúziós és a gázcentrifugás technológia mellett létezik néhány más lehetőség is az urán dúsítására, melyek például lézeres gerjesztésen, vagy elektromágneses elven alapulnak, azonban ezek alkalmazása jelenleg gazdaságtalan [7]. Hosszú távon azonban a lézeres technológia előreláthatóan gazdaságosabb, kisebb energiaigényű és versenyképesebb lesz, mint elődei. A lézeres urándúsítás több módszerrel is megvalósítható. A foto-ionizációs módszer esetén megfelelő frekvenciájú lézer nyalábbal ionizálják az elgőzöltetett

urán atomjait. A lézer az ^{235}U -öt ionizálja, de az ^{238}U -at nem. A keletkező pozitív töltésű ^{235}U ionokat egy negatív elektróda felfogja és összegyűjti, melynek eredményeként az ^{235}U koncentrációja megnő a negatív elektródán.

A foto-disszociációs eljárás során az urán-hexafluoridot (UF_6) lézerrel gerjesztik, melynek hatására foto-disszociáció következik be. Ennek során az ^{235}U -öt tartalmazó UF_6 urán-pentafluoriddá (UF_5) disszociál, és a szilárd halmazállapotú, kizárólag ^{235}U -öt tartalmazó UF_5 elválasztható az UF_6 gáztól.

Korábban az Egyesült Államokban és Franciaországban is kísérleteztek lézeres dúsítással, de felhagytak vele, mivel az eljárással nem sikerült ipari méretekben dúsított uránt előállítaniuk. A nehézségek miatt a lézeres technológiának jelenleg nincs ipari alkalmazása.

A szükséges mértékben feldúsított uránt tartalmazó urán-hexafluoridot sorozatos oxidációs lépések útján urándioxiddá alakítják, amit szintereléssel pasztillákká préselnek. Ezeket a pasztillákat üzemanyagpálcákba töltik, majd a pálcákat kazettákba szerelik. Az atomerőművekben használt fűtőelemek általában UO_2 alapúak, de alkalmaznak fém és kevert-oxid (UO_2/PuO_2) fűtőelemet is.

Kiegett fűtőelemek újrahasznosítása

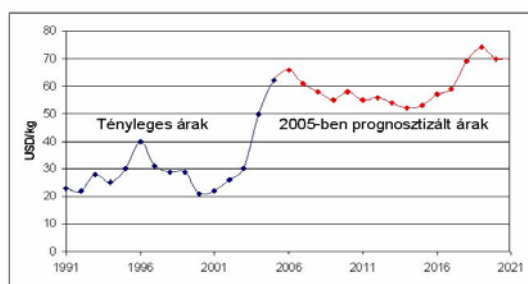
Az atomerőmű működése során keletkező kiegett fűtőelemek újrahasznosításával (reprocessálás) a fűtőelemek ismételt felhasználhatók energiatermelési célra. A katonai leszerelésekből és atomerőművekből származó plutóniumból – évente körülbelül 70 tonna plutónium keletkezik az ^{238}U izotópból neutronbefogással a reaktorokban – és a kiegett fűtőelemekből származó urán felhasználásával kevert-oxid alapú MOX fűtőelemet gyártanak. A világ összes kevert-oxid alapú fűtőelemgyártó-kapacitása 2007-ben elérte a 225 t/év értéket, ami 2012-re várhatóan megduplázódik (6. táblázat). Az EU-ban több tucat reaktorban használnak MOX üzemanyagot, például Belgium, Svájc, Németország és Franciaország atomerőműveiben. A MOX égetésére való alkalmasság a közeljövőben épülő harmadik generációs reaktorok egyik kötelezően demonstrálandó tulajdonsága, ami feltehetően a MOX üzemanyag további terjedését okozza.

6. táblázat A kevert-oxid (MOX) fűtőelemek gyártási kapacitása országanként (t/év) [2]

	2006	2008	2012
Franciaország	145	195	195
Japán	0	0	130
Egyesült Királyság	40	40	40
Összesen	185	235	445

Előrejelzések, azaz mi várható a jövőben?

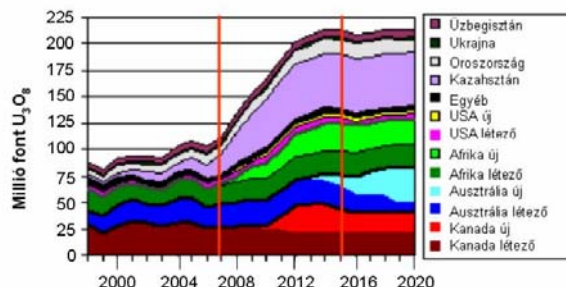
A XXI. század első fele várhatóan a nukleáris ipar reneszánsza lesz, az előrejelzések szerint a megnövekedett kereslet miatt az uránérc ára emelkedni fog, de nem olyan nagymértékben, mint az elmúlt években. A 7. ábrán az urán-oxid tőzsdei árának alakulása látható. Az ábra 2005-ig a tényleges árakat mutatja, 2005-től az előrejelzett árak láthatók. A becslések szerint a következő tíz évben az árak 25 USD/font érték körül fognak fluktuálni. A hosszú távú szerződések, a 3%-nál nagyobb dúsítású fűtőelemek használata, illetve a reprocessálás elterjedése mérsékelik a gyors áremelkedést egészen 2020-ig. A piaci árak ismételt drasztikus emelkedését a drágán kitermelhető urán bányászatainak expanziója, több, jelenleg tervezés alatt álló atomerőmű üzembeállítása, a másodlagos források csökkenése, illetve más nyersanyagok drasztikus áremelkedése (például kőolaj, földgáz) fogja indukálni.



7. ábra: Az urán-oxid piaci árának alakulása

A kitermelési növekményt főleg az afrikai, az ausztrál és a kanadai új lelőhelyek, valamint a kazahsztáni export biztosítja. A kitermelési költséget növeli a kereslet növekedése és az alacsony költséggel kitermelhető készletek kimerülése miatt új, magasabb kitermelési költségű bányák megnyitása (8. ábra).

A konverzió iránti igények 2015-ig csak kis mértékben nőnek, amit a konverziós kapacitás volumene is követ. Ezzel szinkronban az urándúsítási igény is fokozatosan nőni fog, melyet a dúsítási kapacitás is szorosan követ majd (7. táblázat).



8. ábra: A világ uránérc termelésének tendenciája [1]

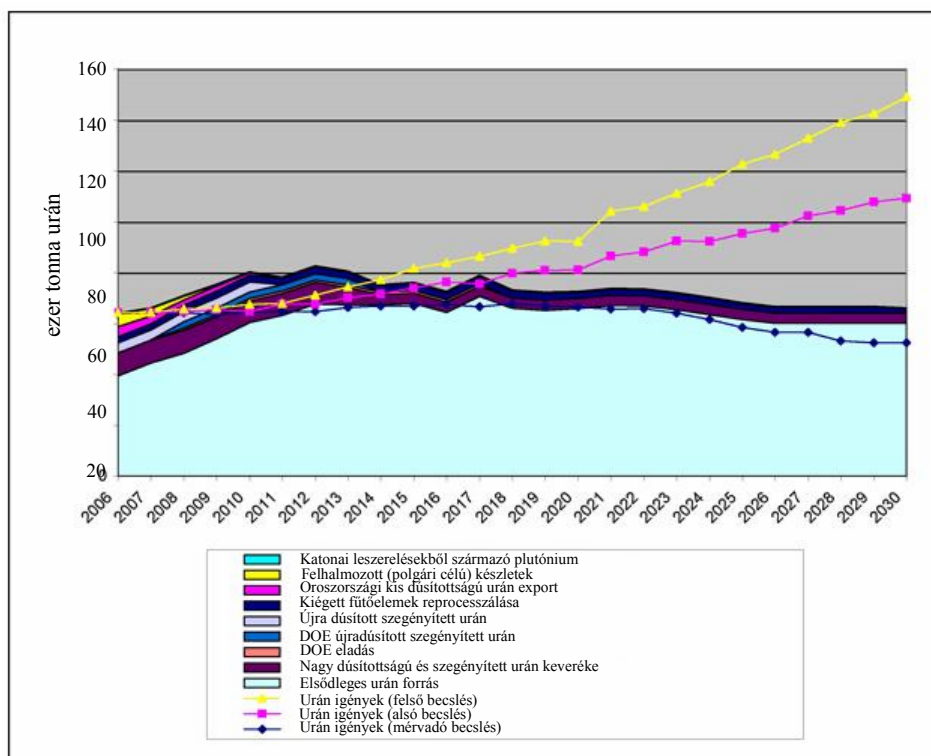
7. táblázat A világ urándúsítási igényeinek és kapacitásának trendje (ezer SWU/év) [2]

Vállalat (ország)	2002	2006	2015
Areva (Franciaország)	10 800	10 800	7 500
Urenco (Németország, Hollandia, Egyesült Királyság)	5 850	9 000	11 000
JNFL (Japán)	900	1 050	1 500
USEC (USA)	8 000	11 300	3 500
Urenco (USA)	0	0	4 000
Tenex (Oroszország)	20 000	25 000	33 000
CNNC (Kína)	1 000	1 000	1 000
Egyéb	5	300	300
Összesen	46 500	48 450	61 800
Igények		48 428	57-63 000

Az urán-oxid iránti igényeket a következő évtized második felében főleg az elsődleges források biztosítják (80%), a másodlagos források részesedése némileg csökken (a jelenlegi 35%-ról körülbelül 20%-ra), mivel a felhalmozott készletek és a katonai leszerelési tartalékok elfognak. Ugyanakkor a MOX üzemanyag részesedése a jelenlegi 2%-ról, 2010-re várhatóan 5%-ra emelkedik (9. ábra).

Uránbányászat Magyarország

A kilencvenes évekig Magyarországon, Kővágószőlősen is bányásztak uránércet, amelyből helyben állították elő az urán-oxidot. Ezt az egykori Szovjetunióba szállították, ahol fűtőelemet gyártottak belőle. A kilencvenes években a Mecsekben ugyan jellemzően 60-100 dollárért termeltek ki egy kilogramm tiszta uránércet, miközben a világpiaci ár kilónként 15-20 dollár volt, a bányászat és ércfeldolgozás folytatását 1991-ben Kormányrendelet engedélyezte. A mecseki bányát végül gazdasági okok miatt 1997-ben bezárták, mivel a kitermelés drága volt, illetve megszűnt a szovjet felvevő piac. A bánya bezárásáig közel 21 ezer tonna uránt termeltek ki és a legújabb becslés szerint még mintegy 1000 milliárd forint értékű uránvagyon van a mecseki lelőhelyen. Az érc uránkoncentrációja tág határok között (300-1600 g/t) változik, átlagos minősége a kutatással lefedett területen 1180 g/t. A mecseki urán kitermelése iránt több külföldi vállalat is érdeklődik, jelenleg is folynak kutatófúrások a Mecsek több pontján. Becslések szerint a bányászat újraindításához közel 100 milliárd forintra lenne szükség, de egy újfajta bányászati technológiával elég lenne 10-20 milliárd forintos befektetés. Az új, úgynevezett perkolációs módszer lényege: furatokon keresztül oxigénnel dúsított vizet sajtolnak a mélybe és a nagynyomású folyadék kioldja a kőzetek urántartalmát, amit egy központi furatból a felszínre emelnek. Hogy az ottani viszonyok között gazdaságosan alkalmazható-e ez a módszer, arra néhány éven belül kaphatunk választ.



9. ábra: Az urán-oxid források alakulása a következő két évtizedben [2]

Összefoglalás

Az atomerőművekben termelt villamos energia jellegzetessége, hogy az atomerőművek építése igen nagy beruházási költséget igényel, ugyanakkor az üzemeltetési költségek viszonylag alacsonyak. Ezáltal az atomerőműben termelt villamos energia ára lényegesen kevésbé érzékeny a fűtőelem árának változására, mint a fosszilis erőművekben előállított villamos energia. Míg egy gázerőmű esetében a tüzelőanyag ára a termelési költség 70-80%-át is kiteszi, az atomerőműben termelt villamos energia árában lényegesen kisebb súllyal szerepel a fűtőelemek ára: az atomerőmű önköltségében az üzemanyag részesedése 15% körülire tehető. Ezzel magyarázható, hogy a fűtőelem árának megduplázódása a hagyományos, fosszilis erőművekben termelt villamos energia árát akár 70-80%-kal is megemelheti, míg az atomerőművekben a hatás jelentősen alacsonyabb, 15% körüli.

A kutatások, becslések és előrejelzések alapján a XXI. század első felében várható uránérc-kereslet növekedés hosszú távon kielégíthető a rendelkezésre álló – általában politikailag stabil országokban található – készletek

kitermelésével, ha azokat másodlagos forrásokkal egészítik ki.

Napjainkban az uránérc árának az elmúlt években tapasztalt gyors növekedése megállt. A közeljövőben várhatóan stabilizálódik az ár, ami az atomerőművek, a fűtőelemgyárak és a bányatársaságok közös érdeke. Az előrejelzések szerint az ár nem esik vissza a 2003-as árszínvonalra, mivel a növekvő kereslet a drágábban kitermelhető uránkészletek megnyitását teszi szükségessé. A folyamatnak közvetlen hatása is lehet hazánkra, a közeljövőben ismét beindulhat Magyarországon az uránbányászat.

Az uránérc feldolgozásához szükséges technológiák kapacitása elegendő, folyamatos bővítésük a jövőben is lehetővé teszi a szükséges anyagmennyiség feldolgozását. A másodlagos források alkalmazása során a nukleáris fegyverekből származó, továbbá az üzemanyagciklus zárásával a civil szférában felhalmozódó hasadóanyagokat energetikai célra hasznosítják, ezáltal csökken a keletkező radioaktív hulladékok és a nukleáris fegyverek mennyisége is.

Irodalomjegyzék

- [1] *The UxConsulting Company, www.uxc.com*
- [2] *World Nuclear Association, www.world-nuclear.org*
- [3] *World Nuclear News, www.wnn.com*
- [4] *Csom Gyula: Az atomenergia-hasznosítás jelenlegi helyzete és várható alakulása II. Fizikai szemle 1991/4. <http://www.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz9104/csom9104.html>*
- [5] *<http://www.kankalin.bme.hu/Dok/energia8.pdf>*
- [6] *<http://www.nrc.gov/materials/fuel-cycle-fac/ur-enrichment.html>*
- [7] *<http://world-nuclear.org/info/inf28.html>*