



A nukleáris üzemanyagciklus lezárásának lehetőségei

2009. november 12-én rendezte meg az Energetikai Szakkollégium az őszi, Dr. Mosonyi Emilről elnevezett félévének utolsó BME-n megtartott előadását, amelyet a BME professor emeritusa, Dr. Csom Gyula tartott a nukleáris üzemanyagciklus lezárásának lehetőségeiről.

Az előadó bevezetőjében kiemelte, hogy az előadás a jövőről szól, mely már a múltban elkezdődött, hiszen a nukleáris üzemanyag ciklus évtizedekben mérhető folyamat. Az előadás emellett az atomenergia kulcskérdéseiről is szólt (nukleáris biztonság, proliferációállóság, a nukleáris üzemanyag-készletek hasznosítási hatásfoka, a készletek rendelkezésre állási ideje, a radioaktív hulladékok kezelése és végleges elhelyezése), de elsősorban az utóbbi kettőt érintette. Összefoglalóan a nukleáris üzemanyagciklus az a folyamat, mely magában foglalja a hasadóanyagnak a bányászattól a nagyaktivitású hulladék végleges elhelyezéséig a teljes atomenergia rendszerben való életútját, amely alatt az atomenergia-hasznosítást megvalósító létesítmények, berendezések összességét is értjük.

A nukleáris üzemanyagciklus három főbb szakaszra osztható. Megkülönböztethető az ún. nyitó szakasz (front end), mely a bányától az atomerőműig tart, elkülönítendő maga az atomerőműi hasznosítás, továbbá a záró szakasz (back end) is a radioaktív hulladékok végleges tárolásáig bezárólag. A záró szakasz jelentőségét alapvetően meghatározza a két kiemelt kulcskérdés (hasznosítási hatásfok, radioaktív hulladékok végleges elhelyezése) megoldásának lehetőségei, hiszen a közvélemény számára nagymértékben ettől függ az atomenergia elfogadottsága.

A különböző típusú atomenergia rendszerek különböző mértékben befolyásolják az üzemanyag ciklust, melyek között egyben szoros kölcsönhatás állapítható meg. E szerint megkülönböztethetünk négy rendszert, melyek közötti fő különbséget a záró szakasz jelenti:

- a) Termikus reaktoros atomerőműveket tartalmazó rendszer nyitott üzemanyagciklussal

- b) Termikus reaktoros atomerőműveket tartalmazó rendszer zárt üzemanyagciklussal
- c) Szimbiotikus atomenergia-rendszer (zárt üzemanyagciklussal)
- d) Hulladékrecirkulációs szimbiotikus atomenergia-rendszer (zárt üzemanyagciklussal)

Az előadás következő részében a fentebbi atomenergia rendszerek kerültek ismertetésre sorrendben, azok egymásra épülésének és a főbb különbségek kiemelése végett.

Az első, és a ma még legelterjedtebb a nyitott üzemanyagciklussal rendelkező atomenergia rendszert 1. és 2. generációs atomerőművek jellemzik. A rendszerben már az urán dúsítása során nagy mennyiségű hulladék keletkezik (1 kg dúsított uránra 7 kg szegényített urán jut). Negatívum továbbá, hogy ezen üzemanyagciklus a kiegészített üzemanyagot hulladéknak tekinti, melyet 3-5 év pihentetés után (rövid felezési idejű izotópok lebomlanak és az aktivitás 2-3 nagyságrendet csökken), majd további 40-50 évnyi tárolás után kondicionált állapotban azokat végleges geológiai tárolókban helyezi el. Kiemelendő hogy a természetes urán energetikai hasznosítási hatásfoka csupán ~0,5-0,75%, így a kiegészített üzemanyag 94-96%-a energetikailag hasznosítatlan hasadóanyagot tartalmaz, egyéb nem hasznosítható izotópok mellett. Emellett a kiegészített üzemanyag közepes és hosszú felezési idejű izotóptartalma (aktinidák és hasadási termékek) és radioaktivitása igen nagy. Ebből következően a kiegészített üzemanyag okozta radiológiai kockázat igen hosszú ideig sokkal nagyobb a kívánatos mértéknél, azonban mindközül ez a legolcsóbb rendszer.

Ez évig 320,000 tonna kiegészített üzemanyag halmozódott fel a világban, mely óriási potenciállal szolgálhat a később részletezett rendszerek számára. Ebből Pakson 2009-ig 1300 tonna kiegészített üzemanyag keletkezett és évente mintegy 50-55 tonnával nő ez a mennyiség, melynek egy részét korábban visszaszállították Oroszországba, illetve másik része végleges elhelyezésre vár az RHK Kft. átmeneti tárolójában az erőmű telephelyén. A kiegészített radioaktív üzemanyagot addig kell tárolni, míg aktivitása le nem csökken a természetes szintre. A jelenlegi felfogás szerint a természeti analógiák alapján erre legalkalmasabb a mély geológiai formációkban a földtani és a műszaki gátak együttes alkalmazásával történő tárolás. Ez a rendszer azonban képtelen megoldani az uránkészlet hatékony felhasználását, mert az a jelenlegi felhasználási ütemben 70 évig elegendő. Bár a szakemberek szerint a nagy aktivitású hulladék elzárható a bioszférától több mint 100000 évig, mégis a lakosság szkeptikus e kérdésben, mert senki nem tud erre hosszú távon garanciát vállalni.

A következő atomenergia-rendszer (termikus reaktoros atomerőműveket tartalmazó rendszer zárt üzemanyag ciklussal) annyiban tér el az elsőtől, hogy a kiegészített üzemanyagot mellékterméknek tekinti, melyet érdemes reprocessálni

és a hasznos komponenseket visszakeringetni. Ez a reprocesszáló mű segítségével történik, mely a kiegészített üzemanyagból képes elválasztani az energetikailag hasznos komponenseket (U- és Pu-izotópokat) a másodlagos aktinidák és hasadási termékeket tartalmazó nagyaktivitású hulladéktól. A visszakeringezett urán egyik részét plutóniummal dúsítják fel (ez a MOX üzemanyag), míg a másik részéből izotópdúsítással urán-üzemanyag készül. E rendszer segítségével kevesebb természetes uránra van szükség, s emellett csökken az elhelyezendő hulladék aktivitása is, mert a reprocesszáló műben leválasztják a másodlagos aktinidákat (pl. Np, Am, Cm), és a többszöri visszakeringetés miatt leromlott minőségű Pu és hasadási termékeket. A költségek emelkednek a nyílt ciklushoz képest, de az urán hasznosítási foka már elérheti az 1%-ot is, ami 80-110 évre növelheti meg a jelenlegi készletek kimerülési idejét. A radioaktív hulladék radiotoxicitása csökken, de még nem oly mértékben, mely megnyugtató lenne a lakosság számára.

A harmadik típus, a szimbiotikus atomenergia-rendszer annyiban különbözik az előzőtől, hogy ún. szaporító reaktorokat állítanak be a rendszerbe, melyek több hasadóanyagot termelnek, mint amennyit elfogyasztanak, így az üzemanyag hasznosítási foka radikálisan növelhető, ahogy az uránkészletek rendelkezésre állásának ideje is. E típusú reaktorok képesek hasznosítani az U-238-as izotópot és a gyorsneutronok hatására a termikus neutronokra nem hasadó képes Pu-izotópokat (Pu-240, Pu-242) is. A plutónium emellett többször visszakeringethető a termikus reaktorokba, így csökkenthető a nagyaktivitású radioaktív hulladékba kerülő plutónium mennyisége, ebből következően az rövidebb idő alatt lebomlik a kívánt aktivitási szintre. E technológiára már ipari szinten is találni megvalósult példákat (Oroszország, Franciaország, USA, Japán), s az új 4. generációs reaktorok több koncepciója is tartalmaz szaporítóreaktorokat. Összességében elmondható, hogy e zárt üzemanyag ciklusú rendszer csak 3. és 4. generációs termikus és gyorsreaktoros atomerőművek segítségével valósítható meg. Ez esetben az üzemanyagciklus záró és nyitó szakasza alapvetően megváltozik: Az uránbányászat egészen addig (>1000 év) szükségtelen, amíg a felhalmozott szegényített urán (dúsítási maradék) és kiegészített üzemanyag el nem fogy. A rendszer további előnye, hogy kevesebb és gyorsabban lebomló (néhányszor 10000 év) nagyaktivitású radioaktív hulladék keletkezik, s ez által a végleges elhelyezés tervezhetőbbé és olcsóbbá válik, s a jelenleg ismert uránkészletek, a felhalmozott szegényített urán (dúsítási maradék) és kiegészített üzemanyag együttesen csak igen hosszú idő alatt merül ki. A jelenlegi kapacitásokkal számolva ez több ezer évet is kitehet. A rendszer azonban csak egy iparilag fejlett, nagy országban (USA, Oroszország, később Kína, esetleg India), vagy egy nagy és egységes politikai régióban (pl. EU), vagy szélesebb körű nemzetközi összefogással valósítható meg, figyelembe véve azt, hogy mely országok viseltetnek nagyobb nukleáris biztonsági felelősséget (proliferációállóság).

Az utolsó és egyben legfejlettebb rendszer a hulladékrecirkulációs szimbiotikus atomenergia-rendszer. Ez megtartva az előző rendszer áttörését a készletek hatékony felhasználásának (rendelkezésre állási idejének) kérdésében, valódi megoldást kínál a nagyaktivitású radioaktív hulladékok radiotoxicitásának mihamarabbi természetes szintre való csökkentésében (akár 1000 év alá is csökkenhet ez az időtartam). Továbbá a rendszer keretében a több százezer évig sugárzó radioizotópok átalakíthatóak kevésbé veszélyes rövid felezési idejű, illetve stabil izotópokká, ez a folyamat a transzmutáció. A fejlesztés alatt álló 4. generációs atomerőművek egy részének az energiatermelés mellett fő feladata már transzmutáció lesz. Ez a koncepció már megnyugtató, teljes körű megoldásként szolgálhat a lakosság számára is. Többek között ezért is elengedhetetlen, az új, 4. generációs atomerőművek fejlesztése és rendszerbe állítása. Érdekes módon a megoldás feltétele, hogy az atomenergia-hasznosítás mértékének és részarányának további dinamikus növekedése mellett van reális esély ennek megvalósulására. Ezen rendszernél az előzőhöz hasonlóan fokozottan igaz, hogy egy regionális vagy nemzetközi rendszerben, melyben minden egyes elemnek meg van a maga funkciója, így a jövőbeli atomenergia-rendszerek tervezésekor át kell lépni az országhatárokat. A 4. generációs atomerőművek és az üzemanyagciklus hozzákapszolódó kifejlesztése, a hulladékrecirkulációs szimbiotikus atomenergia-rendszerek kiépítése paradigmaváltást jelent az atomenergetikán belül. A 4. generációs blokkok a 2030-2040-es évektől léphetnek üzembe és a rendszer teljes kiépítéséhez körülbelül 50 év lesz szükséges, vagyis a 21. század végétől üzemelhet.

Konklúzióként az előadó kiemelte, hogy a jövőről beszélt, így nem jelenthető ki előre, hogy valóban kiépül ez a negyedik rendszer, de ez megoldás lehet, szemben a mai valósággal, hogy mélygeológiai tárolókba kell az atomerőműi hulladékokat elhelyezni százezer évekig. Legvégül Dr. Csom Gyula a hallgatóságnak hangsúlyozta, hogy az optimális megoldás az atomenergia záró ciklusára nem az, hogy azonnal bezárjuk az atomerőműveket, hanem az, hogy további fejlesztésekkel valódi megoldást keresünk az elkövetkezendő generációk számára.

Kozák Balázs

Energetikai Szakkollégium Egyesület tagja, a rendezvény főszervezője

www.eszk.org