

# Az Európai Neutronkutató Központ leszerelési terve

Kókai Zsófia<sup>1,2</sup>, Zagvai Péter<sup>1</sup>, Török Szabina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MTA Energetikai Kutatóközpont

1525 Budapest 114, Pf. 49, tel.: +36 1 392 2222

<sup>2</sup> European Spallation Source

223 63, 24 Tunavägen, Lund, Sweden

A jövő generációk védelme érdekében a sugárveszélyes létesítmények leszerelését, ártalmatlanítását meg kell tervezni, és biztosítani kell az ehhez szükséges erőforrásokat [1]. A leszerelési folyamatban számos, folyamatos fejlesztés alatt álló módszer, megoldandó feladat játszik szerepet, pl. dekontaminálás, vágási technikák, hulladékkezelés, hulladék végleges elhelyezése, telephely helyreállítása. Leszerelési tervet kell készíteni a nukleáris létesítmények, pl. atomreaktor, gyorsító, spallációs forrás, radioaktív hulladéktároló, uránbánya, fűtőelemgyártó, reprocesszáló üzem felszámolásához; újabban fosszilis erőművek esetén is. A létesítés engedélyéhez előzetes leszerelési tervet kell készíteni, a leszerelhetőséget már az építésnél is figyelembe kell venni. A leszerelési terv folyamatos felülvizsgálata szükséges az új technológiák és információk beépítése céljából, ezen kívül mérésekkel kell ellenőrizni az előzetes számításokat.

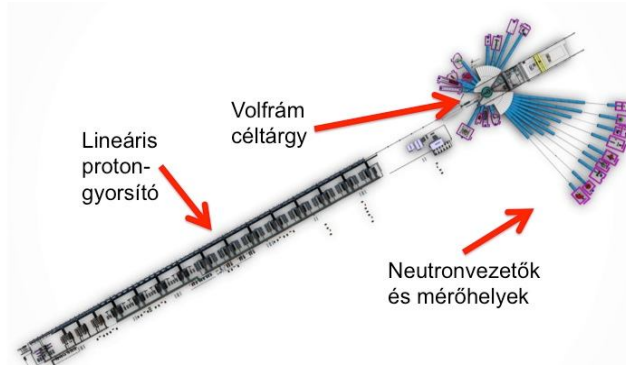
## Az Európai Neutronkutató Központ

Az Európai Neutronkutató Központ (European Spallation Source, ESS) a Svédország déli részén található Lundban épül fel várhatóan 2025-re (1. ábra). A világ legnagyobb intenzitású spallációs neutronforrása lesz, amely széleskörűen alkalmazható az anyagszerkezettel kapcsolatos, a nanotechnológiai, a molekuláris biológiai és egyéb kutatások során. Az ESS alapvető részei (2. ábra) az 582 méteres lineáris protongyorsító, a céltárgyat tartalmazó épületrész, valamint a különböző vizsgálati laborok [2]. A berendezés alapját a Széchenyi-díjas magyar akadémikus professzor, Mezei Ferenc által jegyzett, úgynevezett „hosszúimpulzusú forrás” képezi. A 2 GeV-re gyorsított protonok szilárd, forgó volfrám céltárgyba ütköznek, és spallációt váltanak ki, azaz a volfrám atommagból kisebb részeket „hasítanak ki”. A spallációban felszabaduló neutronokat moderátorok lassítják termikus energiaszintre. A neutronokat neutronvezetők juttatják el különböző mérőhelyekre. A céltárgyat a tervek szerint ötévente cserélik, a létesítmény tervezett élettartama pedig 40 év. A létesítmény nem tartalmaz hasadóanyagot, azonban keletkezik radioaktív sugárzás és a proton- illetve neutronaktiváció révén radioaktív hulladék, amit a nemzetközi sugárvédelmi ajánlásoknak megfelelően kell kezelni és elhelyezni. A hulladékkezelési és előzetes leszerelési terv hivatalos, a Svéd Sugárvédelmi Hatóság (Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM) által elfogadott, interneten hozzáférhető változatát 2012-13-ban az MTA EK Környezetfizikai Laboratóriuma készítette el az ESS, valamint az olasz Rogante Engineering munkatársaival együttműködve. A jelen cikknél sokkal részletesebb tanulmány letölthető az SSM honlapjáról [3]. Svédország élen jár a radioaktív hulladékok környezetbarát kezelésében, a tervek szerint a világon elsők között fogják megépíteni a nagyaktivitású hulladéktárolójukat. Az itt

szerzett tapasztalatok más nukleáris létesítmények leszerelési tervezésénél iránymutatók lesznek.



1. ábra: Az ESS látoányterve



2. ábra: Az ESS sematikus ábrája

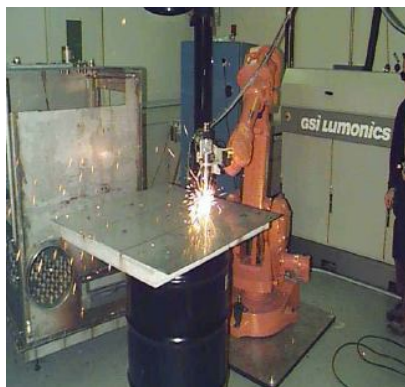
## A leszerelési stratégiák vizsgálata és a telephely-helyreállítás

A három fő leszerelési stratégia az azonnali, a halasztott és az e kettő ötvözésével kapott szakaszos leszerelés. A nemzetközi ajánlások szerint a kutatási létesítmények, így az ESS elsődleges leszerelési stratégiája az azonnali leszerelés (immediate dismantling) [4]. Az azonnali leszerelés mellett számos érv szól, azonban vannak hátrányai is a halasztott leszereléssel szemben. A leállított berendezés sugárterhelési viszonyai az utolsó céltárgy eltávolítása után nem haladják meg a működő berendezését, de a dózisteljesítmény nagyobb lesz, mint a halasztott leszerelésnél. A berendezés kompakt kialakítása révén csak kismennyiségű és dekontaminálható radioaktív szennyezés lesz jelen a leszereléskor nyitottá vált felületeken. Az egyedi szerkezetű berendezések üzemeltetési tapasztalatait jól fel lehet használni a leszerelési műveletekben, az üzemeltető személyzetet is sokkal inkább be lehet vonni a leszerelésbe. Kevesebb ideig kell sugárvédelmi ellenőrzés alatt tartani a telephelyet. A nagyobb dózisteljesítmény mellett az azonnali leszerelés hátrányai még, hogy a technológia fejlettsége alacsonyabb szintű, mint a halasztott leszerelésnél, illetve a keletkező radioaktív hulladék kisebb része szabadítható fel, a nagyobb része megfelelő tárolást, illetve elhelyezést igényel.

A leszerelési terv két fő része a telephely-helyreállítás és a radioaktív hulladékkezelés. A telephely-helyreállítás szempontjából megkülönböztetünk zöldmezős (greenfield) és barnamezős (brownfield) végállapotot. A barnamezős leszerelés csak részleges telephely-felszabadítással jár, ezért a telephelyen továbbra is csak ionizáló sugárzást alkalmazó létesítmény működhet majd. A zöldmezős stratégia lényege, hogy a leszerelés után a telephely korlátozás nélkül használható. Az ESS számára ez a végállapot a cél.

Korábbi hasonló létesítményeknél szerzett tapasztalatok alapján az azonnali leszerelés mintegy öt évet vesz igénybe. Az első lépés a nagyaktivitású komponensek eltávolítása, ezt követi a közepes, majd a kisaktivitású részek eltávolítása, végül az épületek és a telephely helyreállítása, felszabadítása. Ezen lépések végrehajtásánál figyelembe kell venni az ún. ALARA (As Low As Reasonably Achievable) sugárvédelmi alapelvet, azaz az ésszerűen elérhető legalacsonyabb sugárterhelésre kell törekedni.

A leszerelési tervben sorra kell venni az adott szerkezeti elemekhez tartozó vágási, termikus vágási (3. ábra), eltávolítási, szétszerelési és dekontaminációs technológiákat. Egyre gyakoribbak a különféle robottechnológiák, melyek nagy előnye az emberi dózisterhelés csökkentése [5].



3. ábra: Termikus vágás

## Radioaktív hulladékok kezelése

A hulladékkezelés szempontjából a legfontosabb alapelv a hulladék minimalizálásának elve, mely elsősorban a lehető legkevesebb hulladék termelését, másodsorban a lehető legtöbb hulladék újra használatát, illetve újrahasznosítását jelenti. A hulladékkezelés fogalma magában foglalja a hulladékgazdálkodás és -feldolgozás minden elemét, úgymint gyűjtés, osztályozás, minősítés, tárolás (storage), szállítás, térfogatcsökkentés, kondicionálás, elhelyezés (disposal). A legnagyobb kihívást a leszereléskor várható radioaktív hulladékok minőségi és mennyiségi becslése jelenti, melyet - egyedi kutatási létesítményről lévén szó - nem lehet pusztán korábbi tapasztalatokra alapozni, modellszámítások is szükségesek hozzá. A leszerelés idején várhatóan jelenlévő anyagok egyrészt a működés alatt keletkezett, de még el nem távolított hulladékok, másrészt a fel nem szabadítható szerkezeti anyagok lesznek.

### Hulladékkategorizálás

Az ESS előzetes leszerelési tervében a várható radioaktív hulladék mennyiségi és minőségi becslése nagyrészt modellszámításokon alapult [6]. Ezen számítások lényege, hogy a szerkezeti anyagokban végbemenő magfizikai folyamatokat Monte-Carlo elven alapuló modellekkel szimuláljuk. A szimulációk eredményeként kapott részecskefluxusok és az anyagi összetételek alapján az aktiváció, azaz az adott besugárzási és hűtési idő után, adott térfogatelemben jelen lévő aktivitáskoncentráció analitikusan számítható. Az aktivitáskoncentráció szerinti jellemzés mérőszáma a felszabadítási index (clearance index, CI)

$$CI = \sum_i \frac{AK_i}{REAK_i} \quad (1)$$

Az (1) képletben  $AK$  az aktivitáskoncentráció,  $REAK$  a referencia aktivitáskoncentráció [Bq/kg],  $i$  a hulladékcsoport adott radioizotópja. Ha egy hulladékcsoport felszabadítási indexe kisebb, mint 1, akkor az radioaktív hulladékként történő kezelés és elhelyezés nélkül sem okozhat az elhanyagolható dózisznál ( $10 \mu\text{Sv}/\text{év}$ ) nagyobb dózist a reprezentatív személynek, ezért felszabadítható a szabályozás alól [7].

A fel nem szabadítható radioaktív hulladékokat az igényelt hulladéktároló alapján [8] kategorizáltuk. A céltárgy és gyorsító körüli betonárnyékolásból, illetve az aktiválódott talajból származó igen rövid felezési idejű hulladékok a leszerelés befejezésére várhatóan már felszabadíthatóak lesznek. Nagyrészt a céltárgy körüli árnyékolás és a lineáris gyorsító alkatrészei fogják képezni azt a több ezer tonna rövid felezési idejű fém hulladékot, mely minden bizonnyal az SFR (Slutförvaret Föorkortlivat Radioaktivtavgfall, rövid felezési idejű radioaktív hulladékok tárolója) mélységi tárolóba fog kerülni. Az SFR elsősorban a svéd atomerőművek üzemi radioaktív hulladékaik számára létesült a Forsmark atomerőmű telephelyén, Stockholm-tól északra. Az orvosi és kutatási célú nukleáris alkalmazások rövid felezési idejű hulladékait is ide szállítják Svédország különböző részeiről. A hulladékot 50 és 120 méter közötti mélységben, sziklavajatokban helyezik el. A tároló jelenlegi kapacitása 63 ezer  $\text{m}^3$ , 2020-ra tervezik a bővítését [9]. Az ESS gyorsítójának leginkább felaktiválódott, illetve a céltárgyhoz legközelebb eső fémárnyékolásának darabjai az SFL

(Slutförvar F6r Långlivatradioaktivtavsfall, hosszú felezési idejű radioaktív hulladékok tárolója) mélygeológiai tárolóba kerülhetnek. Ezt a lerakót várhatóan 2023-ra építik fel, több száz méterrel a föld alá. A tároló két részből fog állni. Az egyik részben az atomerőművi hulladékot, a másikban a fennmaradó egyéb hulladékokat helyezik el, kristályos kőzetben, bentonittal és más mérnöki gáttal is ellátva. A tároló részletes koncepciója jelenleg még kidolgozás alatt áll [10].

### Hulladéktárolóba történő szállítás

A hulladéklerakóba történő szállítás előtt a hulladékokat a minősítés alapján egymástól elhatárolva, az üzemhez tartozó területen kijelölt átmeneti tárolóban tárolják. A radioaktív hulladékok és általánosan a radioaktív anyagok szállításakor is a legfőbb célok a kikerülés megakadályozása, valamint a személyek, a környezet és az anyagi javak védelme az ionizáló sugárzás káros hatásaival szemben [11]. A hulladéktárolóba érkező radioaktív hulladékoknak meg kell felelniük az adott tárolóra vonatkozó hulladék átvételi követelményeknek (waste acceptance criteria, WAC).

## A leszerelési terv további elemei

Az alábbi pontokat kell a folyamatosan bővülő leszerelési tervben részletesen kidolgozni.

### Jogsabályi háttér

A leszerelési terv frissített és bővített változatát meghatározott időközönként be kell nyújtani a hatóságoknak. Érdekes, hogy az egyedisége miatt az ESS esetében a jelenlegi svéd sugárvédelmi gyakorlatot nem lehet alkalmazni, ezért a hatóságok az engedélyezésével párhuzamosan dolgozzák ki a rá vonatkozó jogsabályi kereteket.

### Szervezeti háttér és humán erőforrás menedzsment

Az engedélyes felelős a leszerelést végrehajtó szervezeti forma kialakításáért. A munkába adott esetben külső vállalkozókat is be lehet vonni. A leszereléshez szükséges munkaerő nagyjából az üzemeltető személyzet számával egyenlő. Megfelelő képzési programokkal a leszerelés minden egyes folyamatához szakképzett munkaerőt kell biztosítani. A leszerelési személyzetnek megfelelő sugárvédelmi ismeretekkel és veszélyhelyzeti felkészültséggel kell rendelkeznie.

### Biztonság

A leszerelési tervben külön meg kell határozni a radiológiai és az egyéb veszélyeket. Balesetelhárítási terveket kell kidolgozni az egyes veszélyhelyzetekre. Az üzemelés alatti nem várt események dokumentációját figyelembe kell venni a leszerelés tervezésében.

## Sugárvédelem

A leszerelés alatt különböző sugárvédelmi szintű területekre kell osztani a telephelyet a sugárzási szint alapján. A sugárveszélyes területeken dózismérőt kell viselni, a nyílt sugárforrással dolgozók belső sugárterhelését pedig egésztest-számlálóval kell rendszeresen ellenőrizni. A leszerelés alatt az alkalmazottak tervezési dózisa 5 mSv/év. A környékbeli lakosságra az üzemelés alatt is érvényes 50 µSv/év dózismegszorítás vonatkozik.

## Környezeti monitorozás

A sugárvédelmi korlátok betartását az üzemelés és a leszerelés alatt is a környezeti monitorozás segítségével lehet ellenőrizni. Környezeti monitorozást a telephelyen belüli és azon kívüli mérőpontokon is végezni kell. A rendszer főbb részei az aeroszol mintavétel és mérés, valamint a talaj és biológiai minták vétele és analízise. Leszereléskor fontos kiegészíteni a rutin méréseket a dekontaminálás előtti és utáni felületi szennyeződés mérésekkel.

## Költségbecslés

A leszerelési terv fontos része a költségbecslés, hiszen az azonnali leszerelés stratégiájának alkalmazásával együtt jár, hogy a leszereléskor rendelkezésre kell állnia a szükséges összegnek. A költségtervben sorra kell venni a leszerelés minden lépésének költségét csakúgy, mint a személyzeti, kutatás-fejlesztési, biztonsági költségeket. A leszerelés költségének igen jelentős részét képezi a radioaktív hulladékok átvételének költsége.

## Tervezési javaslatok a leszerelés könnyű és biztonságos megoldása érdekében

Az előzetes leszerelési terv készítésének egyik fő célja, hogy azt már a létesítmény tervezésénél is figyelembe vegyék, megkönnyítve ezzel a leszerelés folyamatát. A proton- vagy neutronaktivációnak kitett szerkezeti anyagok nyomelem-tartalmának analízise szükséges a radionuklid-leltár becsléséhez. Az anyagi összetétel kiválasztásánál az aktivációt is figyelembe kell venni. Ügyelni kell rá, hogy a radioaktívan szennyezett részek lehetőleg könnyen legyenek szétszerelhetők, és az aktívabb helyek legyenek jól hozzáférhetőek, mivel lehetőség szerint ezeket kell először eltávolítani. A leszerelésnél fontos kritérium a robotika alkalmazhatósága és védelmi falak utólagos beépítésének a lehetősége. Áramellátás és adatátvitel tekintetében fel kell készülni monitorozás utólagos telepíthetőségére. Már a létesítés fázisában tanulmányozni kell a dekontaminálhatóságot. A szükséges információk rendelkezésre állásának biztosítása végett az adatok archiválását 50 évre biztosítani kell [12].

## Irodalomjegyzék

- [1] International Atomic Energy Agency: *International Basic Safety Standards, for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115.*, Vienna, 1996.
- [2] ESS Technical Design Report, ESS-2013-001 (2013) [http://eval.ess.lu.se/DocDB/0002/000274/014/TDR\\_online\\_ver\\_all.pdf](http://eval.ess.lu.se/DocDB/0002/000274/014/TDR_online_ver_all.pdf)  
Hozzáférés dátuma: 2014. 03. 27.

- [3] P. Zagyvai, Zs. Kókai, D. Ene: *Initial decommissioning plan for ESS*, ESS-0003813, 2013,  
[http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/ESS/ESS-ansökan/Kompletteringar/SSM2012-131\\_130724\\_3.pdf](http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/ESS/ESS-ansökan/Kompletteringar/SSM2012-131_130724_3.pdf) Hozzáféres dátuma: 2014. 03. 27.
- [4] IAEA TRS-414, *Decommissioning of Small Medical, Industrial and Research Facilities*
- [5] SNS-D&D, *Spallation Neutron Source Decontamination and Decommissioning*, 102030200TR0002R00., 1999
- [6] D. Ene: *ESS Preliminary Waste Management Plan*, ESS-0003144., 2012
- [7] International Atomic Energy Agency: *Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance*, Safety Reports Series, No. 44., 2005
- [8] SSMFS 2011/2, *The Swedish Radiation Safety Authority's regulations and general advice concerning clearance of materials, rooms, buildings and land in practices involving ionising radiation*
- [9] <http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/In-English/About-the-Swedish-Radiation-Safety-Authority1/Our-work-to-enhance-safety-/Facilities-in-Sweden/Repository-for-short-lived-radioactive-waste-SFR/>  
Hozzáféres dátuma: 2014. március 27.
- [10] Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.: *Technical report TR-13-14, SFL concept study*, Stockholm, 2013  
<http://www.skb.se/upload/publications/pdf/TR-13-14.pdf>  
Hozzáféres dátuma: 2014. március 27.
- [11] International Atomic Energy Agency: *Safe Transport of Radioactive Material Fourth Edition, Training Course Series No. 1.*, Vienna, 2006.
- [12] International Atomic Energy Agency: *Technical reports series no.411. Record keeping for the decommissioning of nuclear facilities: Guidelines and Experience*, Vienna, 2002  
[http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS411\\_scr.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS411_scr.pdf)  
Hozzáféres dátuma: 2014. március 27.