

## DELISA-LTO projekt: Description of the extended lifetime and its influence on the safety operation and construction materials performance - Long term operation with no compromises in the safety

### Az élettartam hosszabbítás biztonsági működésre és az alapanyagokra gyakorolt hatásának leírása – Hosszú távú működés biztonsági komponisszumok nélkül

A DELISA-LTO projekt az EURATOM keretprogram NRT-01-01 felhívásában nyert támogatást 2021 évben.

#### 1. A projekt előzményei

##### 1.1 A hosszú távú üzemeltetés (LTO) előzményei

Bár a ma működő atomerőművek többségét eredetileg 30 és 40 év közötti üzemidőre tervezték, valójában a reaktorok élettartamának nincs rögzített műszaki korlátja, az atomerőművek tervezési élettartamukon túli üzemeltetése ma már mindennapos, a szabályozói megfelelés, a biztonság és a gazdasági teljesítmény vizsgálata egyedi alapon történik. 2019-ben jelentős mérföldkőhöz érkeztünk, amikor a világ legrégebben működő atomerőműve elérte az 50 éves üzemelési évfordulóját. Az első reaktor, amely ezen mérföldkövet átlépte az indiai Tarapur 1-es blokk volt, amelyhez nem sokkal később csatlakozott a 2-es blokk, majd később a Beznau 1 (Svájc), a Nine Mile Point 1 (USA) és a Ginna (USA). Ezen utóbbiak azok az első reaktorok a sok közül, amelyek az elkövetkező években átlélik ezt a küszöböt, és amelyek az eredetileg vártól évtizedekkel tovább fognak tiszta, megbízható villamos energiát termelni. Az atomerőművek hosszú távú üzemeltetését (LTO) sikeresen demonstrálták, mely nemzetközileg egyre inkább elfogadott, bevett gyakorlatnak számít. Az atomerőművek világméretű flottája egyre öregebb. Például az Egyesült Államok rendelkezik az egyik legrégebbi atomerőműparkkal, és a legtöbb reaktor működési engedélyét már megújították, ami lehetővé teszi számukra, hogy az eredetileg tervezett 40 éves működési engedélyen túl további 20 évig működjenek. Koruk ellenére ezek az atomerőművek továbbra is kiemelkedő teljesítményt nyújtanak, több mint 90%-os teljesítménytényezővel. Az Egyesült Államokban számos atomerőmű-üzemeltető törekszik az engedélyek újbóli megújítására, ami lehetővé tenné számukra, hogy további 20 évig (így összesen 80 év) még működőképesek legyenek.

##### 1.2 A VVER reaktorok fejlődése

A VVER (vízzel moderált/vízűtéses reaktor) egy nyomtövezes reaktortípus, amelyet a volt Szovjetunióban az OKB Hidropress Electrical tervezett és fejlesztett ki. E reaktorok elektromos teljesítménye 440-1200 MW. A VVER-reaktorok nyomástartó edényeihez használt anyagok (a típus és a gyártás helye szerint) eltérőek. A gyártás három helyen történt: Izhora, Szentpétervár közelében, Atommash a Volgán és a Škoda gyár Pilsenben, a Cseh Köztársaságban.

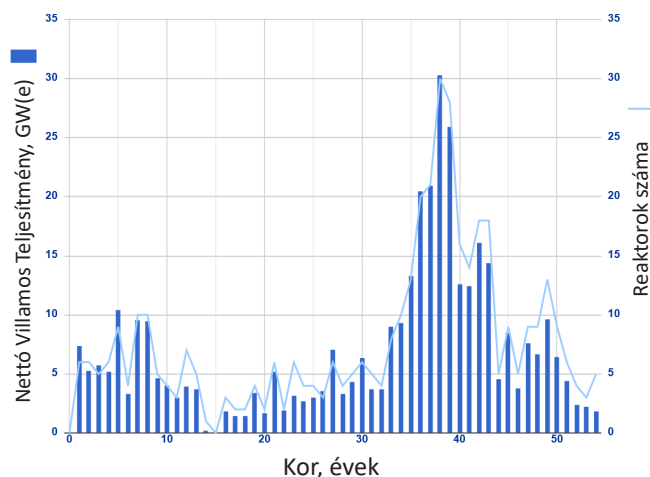
Az első két VVER atomerőmű a reinsbergi 70 MWe

teljesítményű blokk és az 1963-ban Novovoronyezsben üzembe helyezett 210-es blokk

volt. Ezt követte egy második, az 1969-ben üzembe helyezett 365 MWe teljesítményű prototípus. Ezekből a prototípusokból született meg a 440 MWe teljesítményű szabványos atomerőmű, amely a VVER-440 V230 elnevezést kapta. A modulokat általában iker egységekként építik be, hat hurokkal, elszigetelő szelepekkel minden egyes körben, vízszintes gőzfejlesztőkkel, és mindegyiknél 220 MWe teljesítményű gőzturbina alkalmazásával. Az első VVER-440 V230 a Novovoronyezs 3. blokkja volt, amely 1971-ben kezdte meg villamosenergia termelését. A két örmény egység ennek a modellnek a változata, amely rendelkezik földrengés elleni védelemmel is.

A későbbi, VVER-440 V213 típust az 1970-es években vezették be. A V213 és a V230 közötti fő különbség a súlyos balesetek hatásainak enyhítésében rejlik. Ezek a reaktorok megfigyelési mintákat tartalmaztak az reaktortartályok állapotáról való előzetes tájékoztatás céljából, és amikor az első "láncok" mintáit vizsgálták, jelentős különbséget tapasztaltak a tényleges és a feltételezett mechanikai tulajdonságok között, ahol a tulajdonságok változása nagyobb volt a feltételezetté.

A legújabb típusú VVER-reaktor a VVER-1000, V302 és V320 reaktortartályokkal. Az első ilyen 1000 MWe teljesítményű erőmű 1980-ban kezdte meg működését Novovoronyezsben (5. blokk). Ezek általában ikeregységekből álló modulokban épülnek, mindegyik négy hurokkal, vízszintes gőzfejlesztővel rendelkezik, és mindegyik 1000 MW-os gőzturbinával van ellátva.



1. ábra: A működő reaktorok kormegoszlása világszerte [1]



2. ábra: A DELISA-LTO projekt célja [3]

### 1.3 Reaktorok öregedése a világon

2022 novemberéig világszerte összesen 427 erőművi reaktor üzemel, és 56 új reaktor építése van folyamatban. Az életkori megoszlásukat az 1. ábra szemlélteti. Ezek körül 12 országban üzemel összesen 65 VVER-reaktor és 20 van építés alatt. Az uniós országokban 19 VVER-blokk működik. További 12 Ukrajnában fog létesülni. A magas szintű biztonságos, hatékony, megbízható és hosszú távú üzemelés (LTO) a tervezett élettartam felett, az élettartam 60-80 évre történő meghosszabbításával, korábbi generáltervező nélkül, a valódi és aktuális kihívás az európai nukleáris közösség számára.

## 2. A projekt célja

A DELISA-LTO projekt 2022. júniusában indult és 2026 május végéig tart, melynek célja (2. ábra) az üzembiztonság növelése és az élettartam meghosszabbítása következő szempontok figyelembevételével:

- Az LTO szempontjából legkritikusabb alkatrészek meghatározása és az LTO-nak az anyagtulajdonságokra gyakorolt hatásának leírása.
- Roncsolásmentes módszerek, szimulációs eszközök és módszertanok kifejlesztése a meghibásodások korai előrejelzésére.
- Az atomerőművek jövőbeli üzemeltetésére vonatkozó ajánlások megfogalmazása és élettartamuk meghosszabbításának értékelése.

A konzorcium (3. ábra) az európai régióban működő valamennyi VVER-egységet működtető országot és az összes érdekeltégű kutatási szervezetet magában foglalja, nevezetesen a következőket:

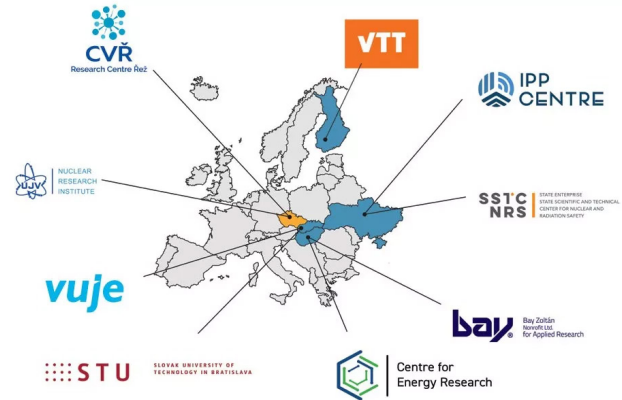
Csehország: CVR, UJV

Szlovákia: VUJE, STUBA

Magyarország: EK-CER, BZN

Finnország: VTT

Ukrajna: IPP, SSTC



3. ábra: A DELISA-LTO projekt partnerek [3]

## 3. A projekt módszertana

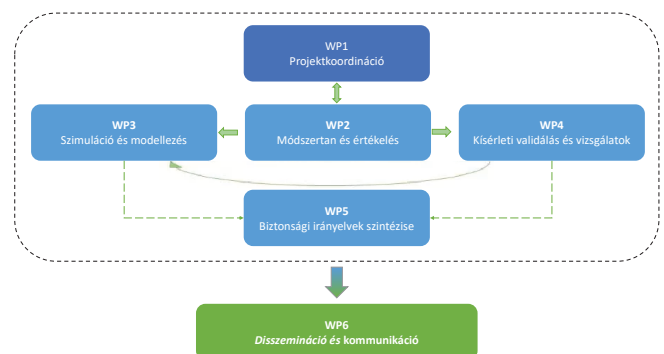
A projekt 6 munkacsomagot tartalmaz az alábbiak szerint felosztva, melyeket a 4. ábra is szemlélteti:

**WP1 Projektkoordináció:** A WP1 a projekt koordinációjával és az összes belső tevékenység irányításával foglalkozik, például a projekttervezetek tervezésével, a projekt technikai koordinációjával, a partnerek közötti és az Európai Bizottsággal folytatott kommunikációval. A WP1 ellenőrzi a projekt általános irányításával és a munkálatok műszaki előrehaladásával kapcsolatos feladatokat.

**WP2 Módszertan és értékelés:** A WP2 összegyűjti a projektpartnerek széles körű tapasztalatait és ismereteit a VVER-egységek primerkörű alkatrészeinek degradációjáról, valamint az anyagváltozásuk vizsgálatában való jártasságukat. Célja, hogy meghatározza a hosszú távú működés szempontjából legkritikusabb alkatrészeket és azok részeit, továbbá javaslatot tegyen az anyagvizsgálótok módszertanára.

**WP3 Szimuláció és modellezés:** A WP3 a duzzadás és a termikus öregedés modellezését és szimulációját foglalja magában azzal a céllal, hogy megértsük és megjósoljuk a különböző mechanikai tulajdonságokkal rendelkező anyagok és alkatrészek viselkedését különböző üzemi körülmények és állapotok között, amelyek a hosszú távú működés során idővel megváltozhatnak.

**WP4 Kísérleti validálás és vizsgálatok:** A WP4 szilárd és megbízható kísérleti adatbázist teremt az atomerőművek működése során az anyagok termikus öregedésének



4. ábra: A DELISA-LTO projekt felépítése [3]

értékeléséhez. A kísérletek eredményeit a degradációs mechanizmusok által a kiválasztott atomerőmű szerkezeti anyagokra gyakorolt hatások részletes értékelésére, valamint a jelenlegi LTO-eljárásokra és -módszerekre gyakorolt hatások meghatározására fogják felhasználni.

**WP5 Biztonsági irányelvek szintézise:** A WP5 a rendelkezésre álló anyagok meglévő biztonsági irányelveit elemzi, amelyek befolyásolhatják a várhatóan több mint 60 évig tartó biztonságos hosszú távú működést. A WP2-WP4 elméleti ismeretei és eredményei alapján a vizsgálati eljárásokra és technikákra, valamint a mintaelőkészítésre vonatkozó javító ajánlásokat fogalmazzák meg és nyújtanak be a hatóságoknak és a gyártóknak.

**WP6 Disszemináció és kommunikáció:** A WP6 magában foglalja az eredmények terjesztését és hasznosítását a nagyközönség és a szakemberek számára, ami fontos kérdés a projekt végrehajtása során. A WP6 hatékony oktatás, képzés és workshopok szervezése révén támogatja a tudás átadását a technikusok új generációjának.

A vizsgált anyagokat a WP2 keretében a Jaslovské Bohunice atomerőmű (1. és 2. blokk) különböző primerköri komponenseiből választották ki a szerkezeti anyagállapot – kezdeti állapot/üzemben töltött évek száma – és az anyagtípus – alapfém (BM), hegesztett fém (WM) és hőérzékeny zóna (HAZ) – szempontjából.

A DELISA-LTO projekt során az anyagokra és tulajdonságaikra vonatkozó adatokat összegyűjtik, tárolják és megosztják a JRC adatbázisában [2].

#### 4. A BZN szerepvállalása a projektben

A Bay Zoltán Nonprofit Kft. (BZN) részéről a projektben a miskolci telephelyen működő Szerkezetintegritás és Gyártástechnológia Osztály és Anyagvizsgáló Osztály, mint projektpartner vesz részt a WP2 T2.2 alfeladat és WP3-4-5 szakmai munkacsomagok összes alfeladatában.

A WP2 Módszertan és értékelés négy alfeladatot (task-ot) foglal magába. Ezek közül a BZN a T2.2 Roncsolásmentes vizsgálatok módszertana c. alfeladatban vállal aktív szerepet. A VVER-reaktorok hosszú távú üzemeltetése szempontjából az egyik leginkább érintett alkatrész a gőzfejlesztők hőcserélő csövei. Mivel számos VVER-egységben új típusú károsodások jelentek meg, amelyek közül sok csak egyes egységekre jellemző, ezért széles körben elfogadott igény van új vizsgálati technikák kifejlesztésére és alkalmazására.

A WP3 Szimuláció és modellezés munkacsomag a tervezés vagy a biztonság igazolásának egyik legfontosabb része, mivel lehetővé teszi a különböző mechanikai tulajdonságokkal rendelkező elemek és alkatrészek viselkedésének megértését és előrejelzését különböző működési körülmények között és időben változó állapotokban. A WP3 a nemzeti szabályalkotás, a jelenlegi üzemeltetési gyakorlatok és a duzzadás értékelésére, a termikus öregedésre és az üzem közbeni ellenőrzésekre vonatkozó megközelítések összehasonlítását is magában foglalja.

A WP4 Kísérleti validálás és vizsgálatok munkacsoporthoz tevékenységei az üzemeltetési körülmények között degradációs mechanizmusoknak kitett, valós archív

atomerőművi anyagokból álló nagy anyagmátrixon alapulnak. A projekt keretében elemzett szerkezeti anyagok főként a VVER típusú reaktortartályból, reaktorbelső szerkezeti elemből és primerkörből származnak. Az eredmények adatbázisának létrehozásához a mechanikai vizsgálatok hagyományos módszereit, valamint a miniatürizált minták és a modern NDT-megközelítések távlati módszereit alkalmazzák. A tervezett kísérleti tevékenységek a tapasztalt laboratóriumok együttműködésének szinergiáiból fognak profitálni, és a tervezett feladatok jelentős részét laboratóriumok közötti összehasonlító vizsgálatokkal fogják megoldani a vizsgálati és mintaelőkészítési eljárások és technikák harmonizálása érdekében.

A WP5 Biztonsági irányelvek szintézise célja a hosszú távú, erősen előregedett rendszerek, szerkezetek és alkatrészek (SCC) anyagainak vizsgálati eredményei és a ridegedésük modellezése alapján javaslatot tenni a vonatkozó iránymutatások harmonizációjára vonatkozóan. A rendelkezésre álló anyagok alapján a projekt keretében elemzett legfontosabb SSC-k főként a VVER típusú reaktorok nyomástartó edényeiből, reaktor belső szerkezeti elemeiből és primerköréből származnak. A feladatokat laboratóriumok közötti összehasonlító vizsgálatokkal oldják meg a vizsgálati és a minták előkészítési eljárásainak és technikáinak harmonizálása érdekében.

#### 5. Eddigi eredmények

A projekt a futamidejének első szakaszában van. Indulása óta a résztvevő intézetek kidolgozták a WP2-3-4 munkacsomagokra vonatkozó szakmai kérdőíveket, melyek alapján elkezdődött az egyeztetés az egyes részfeladatokban futó munkákat illetően.

További információk a honlapon:

<https://delisa-lto.eu/>

**Szávai Szabolcs, Dudra Judit**  
Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.

#### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak az Európai Bizottságnak a tanulmány részleges/teljes pénzügyi támogatásáért az Euratom 2021-es kutatási és képzési programja keretében a 101061201-as számú támogatási megállapodás keretében (DELISA-LTO projekt).

#### Acknowledgments

The authors thank the European Commission for partial/total financial support of this study in the frame of the Euratom research and training programme 2021 under grant agreement N° 101061201 (DELISA-LTO project).

#### Irodalomjegyzék

- [1] IAEA website, cit. 30th October, 2022 <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalByAge.aspx>
- [2] JRC adatbázisa: <https://odin.jrc.ec.europa.eu/>
- [3] DELISA-LTO Newsletter (2022/1): <https://delisa-lto.eu/news-events/> (letöltés dátuma: 2022.12.28.)