

Kis moduláris reaktorok beillesztése a hazai villamosenergia-rendszerbe

Feladatok és kihívások a sugárvédelem, a baleset- elhárítás és a radioaktív hulladékok kezelése területén

Zombori Péter, Fábián Margit, Jakab Dorottya, Király Márton,
Kocsonya András, Molnár Balázs*, Osán János, Pázmándi Tamás,
Rudas Csilla, Zagyvai Péter

HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont

*Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.

HUN
REN



Energiatudományi
Kutatóközpont

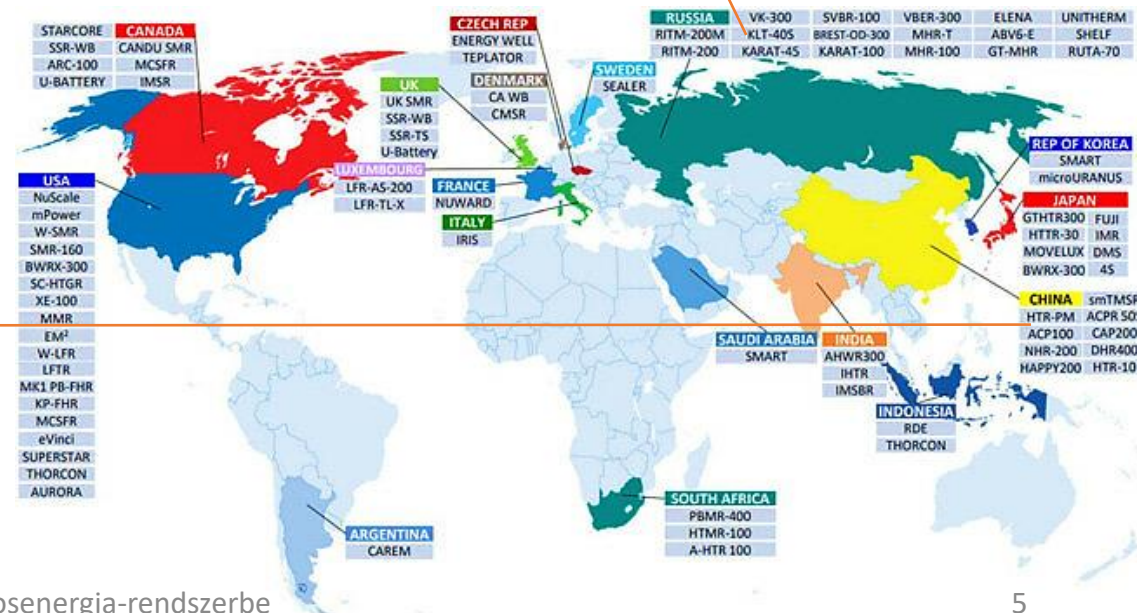
2025. április 8.

- A kis moduláris reaktorok (Small Modular Reactors, SMR) a nukleáris energia egyik legígéretesebb fejlesztési iránya.
- Az SMR-ek fejlesztése során több, mint 70 évnyi nukleáris energiaipari tapasztalat tanulságait próbálják felhasználni és implementálni annak érdekében, hogy növeljék a létesítmény biztonsági mutatóit és emellett meg tudjanak felelni a megújult energiapiaci igényeknek is.
- Ezek eléréséhez különböző céloknak kell teljesülniük, mint az egyszerűsített konstrukció, a moduláris felépítés és a sorozatgyárthatóság, az alacsonyabb beruházási költségek, a rövidebb építés idő és a hagyományos atomerőműveknél kisebb egységteljesítmény (<300 MWe).

- Az alacsonyabb teljesítményt jellemzően kisebb zónaméret mellett érik el, ennek eredményeként az egyes blokkok kevesebb nukleáris anyagot tartalmaznak.
- Balesettűrő üzemanyagokat és továbbfejlesztett szerkezeti anyagokat alkalmaznak, amelyek képesek magasabb hőmérsékleten is megőrizni szerkezeti integritásukat.
- Olyan passzív biztonsági rendszereket használnak, amelyek külső áramforrás vagy emberi beavatkozás nélkül is képesek biztosítani az aktív zóna integritását üzemzavari vagy baleseti helyzetekben.
- Ezek jelentősen hozzájárulnak a biztonsági célkitűzések eléréséhez, miközben csökkentik a szükséges emberi beavatkozások mértékét és a beruházási kockázatokat.

- Az SMR-ek átalakíthatják az energiapiacot és elhozhatják a nukleáris ipar új hullámát, reneszánszát, mivel számos gazdasági és technológiai előnyt ígérnek.
- A kisebb reaktorok, kisebb beruházási igény mellett építhetők.
- Fontos részei lehetnek a nemzeti energiabiztonsági törekvéseknek, kiszámítható és lokális energiatermelés, rugalmasabb és többcélú energetikai felhasználás.
- A moduláris konstrukció és az elemek előre gyártása az építési költségek csökkentését ígéri, így gyorsabban telepíthető.
- A dekarbonizációs klímacélok elérésének eszköze is lehet, nehezen dekarbonizálható iparágakra jelenthet megoldást.

- Az SMR, mint kategória sokféle alkalmazást és technológiát rejt magában, 68 aktív fejlesztést azonosított a NAÜ 2024-ben.
- Az elképzelt reaktor közül alig egy tucatnyi tart a megvalósítás valamilyen fázisában, azonban jelentős nemzetközi érdeklődésre tartanak számot.



- A mostani SMR projekt célkitűzése a kis moduláris reaktorok magyarországi létesítési lehetőségének vizsgálata, a jelenlegi nukleáris és ipari infrastruktúra felmérése, valamint az egyes területeken szükséges változtatások összegyűjtése.
- A felmérés alapját a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség „Infrastruktúra elemek és feladatok” megközelítése adja, ami egy atomerőmű építéséhez szükséges infrastruktúra létrehozását, valamint az építés és az üzemeltetés alapfeltételeit vizsgálja, 19 területen keresztül
- Ez a megközelítés főleg újonnan belépő országok felkészülését segíti, azonban létező infrastruktúra bővítésére, új atomerőművek telepítésének vizsgálatára is használható



Nemzeti
energiapolitika



Nukleáris
biztonság



Menedzsment



Finanszírozási
séma



Jogi
keretrendszer



Nukleáris biztosíték
rendszer



Hatósági
keretrendszer



Sugárvédelem



Villamosenergia
hálózat



Emberi erőforrás
fejlesztés



Érintettek
bevonása



Telephely és
létesítés



Környezeti
hatások



Balesetelhárítási
tervezés



Fizikai védelem



Üzemanyagciklus



Radioaktív
hulladékok



Ipari résztvétel

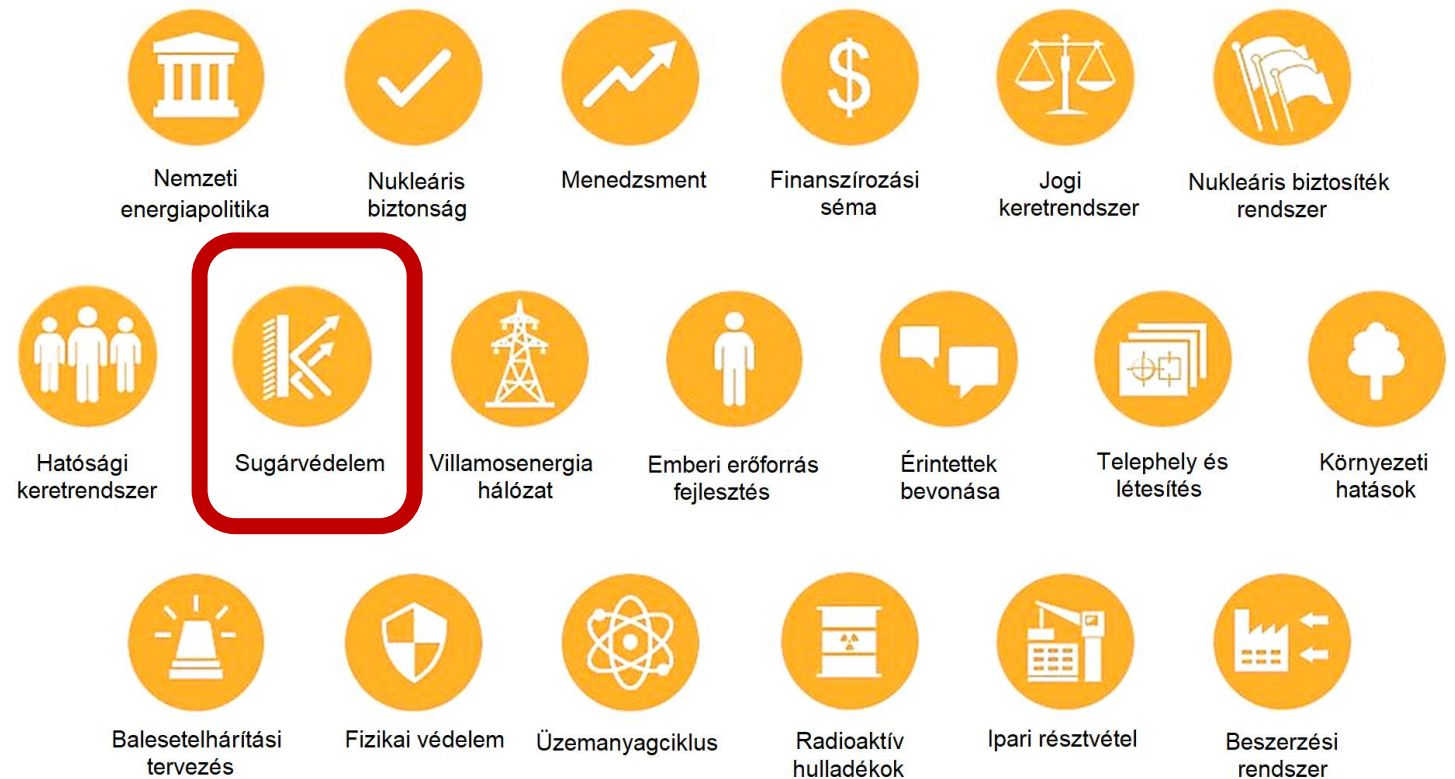


Beszerezési
rendszer

- A 19 infrastruktúra elem mindegyikét párhuzamosan vizsgáljuk, külön csoportok alakítottunk az egyes területek szakembereiből.
- A **HUN-REN EK** és a **BME** eddig több, mint 40 embert mozgósított a 19 infrastruktúra pont lefedésére, az EK 8 laboratóriumából (Sugárvédelem, Környezetfizika, Sugárbiztonság, Környezetvédelem, Reaktorüzem, Nukleáris biztonság, Fűtőelem, Műszaki szakértői) és a BME 4 tanszékéből és intézetéből (Nukleáris technika, Energetikai gépek, Villamos energetika, Gazdaságtudomány) vontunk be közreműködőket.
- Az **ERBE** szakemberei is részt vállaltak három fejezet (telephely, hazai ipar, beszerzési rendszer) kidolgozásában, valamint külső szakértőket is felkértünk (Katona Tamás, Lamm Vanda, Horváth Kristóf, Zombori Péter)
- Az egyes pontok koordinálását megosztottuk az EK és a BME NTI között.

- Előzetes megállapítások
- További vizsgálatok iránya





- **A hazai sugárvédelmi rendszer a NAÜ GSR Part 3 és az EU BSS dokumentumokra épül**
 - Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards – General Safety Requirements – GSR Part 3 – IAEA STI/PUB/1578, Vienna (2014)
 - Basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, EU Council Directive 2013/59/Euratom
- **A legfontosabb hazai jogszabályok**
 - 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról;
 - 2/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről (Svr.);
 - 489/2015. (XII. 30.) Kormányrendelet a lakosság természetes és mesterséges eredetű sugárterhelését meghatározó környezeti sugárzási helyzet ellenőrzési rendjéről és a kötelezően mérendő mennyiségek köréről;
 - 16/2000. (VI. 8.) EüM rendeletet az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról;
 - 8/2002. (III. 12.) EüM rendelet az egészségügyi ágazat radiológiai mérő és adatszolgáltató hálózata felépítéséről és működéséről.

+ OAH Útmutatók
+ MSSz, SL
- **A hazai jogszabályi környezet megfelelő, az SMR beillesztése nem igényel lényeges módosításokat**

- **Várható kihívások**

- Az egyes **személyekre** vonatkozó sugárvédelmi előírások szempontjából nem indokolt más követelmények alkalmazása az SMR-ek esetében, mint a jelenleg is érvényes szabályozásban.
- Nem látszik indokoltnak, hogy az egyes létesítményekhez, tevékenységekhez rendelt **lakossági dózismegszorítás** és annak meghatározási módszere eltérjen a jelenlegi gyakorlattól.
- Jelenjen meg a **graded approach** – fokozatosság elve

- **Várható kihívások**

- A **létesítmény és a telephely jellemzőinek ismeretében** lehet a sugárvédelmi követelményeket pontosítani, elsősorban a személyi dozimetria és az ehhez kapcsolódó **monitorozás**, valamint a **kibocsátás- és környezetellenőrző rendszer** elemeit befolyásolhatja a kiválasztott reaktortípus.
 - Neutronspektrum, nuklidvektor
 - Létesítmény kialakítása (sugaras és nem-sugaras munkavállalók és munkaterületek elhatárolása)
 - Telephely jellemzői
 - Fűtőelemek (típusa, összetétele, kiégés maximális szintje, a fűtőelem fizikai-kémiai jellemzői és szerkezete)
 - Fűtőelemek kezelése (szállítása, tárolása, ...)
 - A keletkező radioaktív hulladék mennyisége és jellemzői

- **Az SMR specifikus kérdések**

- A reprezentatív személy távolsága lényegesen kisebb lehet
- A magasabb üzemi hőmérsékletek befolyásolják a csóvaemelkedés mértékét
- A moduláris kialakítás
 - Befolyásolja az eljárásrendeket
 - Figyelembe kell venni az egyes modulok közötti kölcsönhatást, a lehetséges keresztszennyezést, a modulok közötti eltérésből származó kockázatot (pl. közös üzemeltetők és karbantartók képzése)
 - Sugaras és nem-sugaras munkavállalók és munkaterületek elhatárolása

- A mérési és elemzési módszerek, modellek, eszközök fejlesztése szükséges. Erre időben fel kell készülni, ehhez munkatervet kell kidolgozni
- Fel kell mérni, hogy vannak-e olyan részterületek, amelyekhez kapcsolódóan szükséges lehet a jogszabályok módosítása
- Figyelemmel kell kísérni a nemzetközi szervezetekben folyó tevékenységet.

- A hazai jogszabályi környezet sugárvédelmi szempontból megfelelő, az SMR beillesztése nem igényel lényeges módosításokat
- A típusra jellemző neutronspektrum és nuklidvektor, a telephely jellemzői alapján lehet a sugárvédelmi rendszer elemeit (munkahelyi sugárvédelem és a kibocsátás- és környezetellenőrző-rendszer) meghatározni



Nemzeti
energiapolitika



Nukleáris
biztonság



Menedzsment



Finanszírozási
séma



Jogi
keretrendszer



Nukleáris biztosíték
rendszer



Hatósági
keretrendszer



Sugárvédelem



Villamosenergia
hálózat



Emberi erőforrás
fejlesztés



Érintettek
bevonása



Telephely és
létesítés



Környezeti
hatások



Balesetelhárítási
tervezés



Fizikai védelem



Üzemanyagciklus



Radioaktív
hulladékok



Ipari részvétel



Beszerezési
rendszer

- **A hazai baleset-elhárítási rendszer a NAÜ GSR Part 3 és Part 7 dokumentumokra épül**
 - Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards – General Safety Requirements – GSR Part 3 – IAEA STI/PUB/1578, Vienna (2014)
 - Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency – General Safety Requirements – GSR Part 7 – IAEA STI/PUB/1708, IAEA, Vienna (2015)
- **A legfontosabb hazai jogszabályok**
 - 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról;
 - 2/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről (Svr.);
 - 165/2003. (X. 18.) Kormányrendelet a nukleáris és radiológiai veszélyhelyzet esetén végzett lakossági tájékoztatás rendjéről;
 - 167/2010. (V. 11.) Kormányrendelet az országos nukleárisbaleset-elhárítási rendszerről;
 - 28/1987. (VIII. 9.) MT rendelet a Bécsben, 1986. szeptember 26-án aláírt, a nukleáris balesetekről adandó gyors értesítésről szóló egyezmény kihirdetéséről;
 - 29/1987.(VIII. 9.) MT rendelet a Bécsben, 1986. szeptember 26-án aláírt, a nukleáris baleset, vagy sugaras veszélyhelyzet esetén való segítségnyújtásról szóló egyezmény kihirdetéséről.

+ OBEIT (Országos Nukleárisbaleset-elhárítási Intézkedési Terv)

+ OAH Útmutatók
- **A hazai jogszabályi környezet és a nukleárisbaleset-elhárítás rendszer megfelelő, az SMR beillesztése nem igényel lényeges módosításokat**

- **Várható kihívások**

- Az OBEIT, amelyhez szervesen kell kapcsolódnia az új létesítményi Baleset-elhárítási Intézkedési Terveknek (BEIT), ugyan nem nyilvános dokumentum, a szakmai közösség tagjai részére elérhető, az új létesítmények bevezetésekor ezt mindenképpen frissíteni, aktualizálni kell.
- Nagy energiaigényű, de lokalizált fogyasztók indokolhatják a közelükbe települő új energiatermelő létesítményeket, egyben csökkenthetik a lakott területektől betartható távolságot és nehezíthetik a védőzónák (Megelőző Óvintézkedések Zónája (MÓZ) és a Sürgős Óvintézkedések Zónája (SÓZ) kialakítását.
- Jelenjen meg a graded approach – fokozatosság elve
- Több hasonló telephely és létesítmény esetén a baleset-elhárítás területén is a harmonizált megközelítés javasolt, a „HERCA-WENRA approach” elveivel összhangban.

- **Várható kihívások**

- A létesítmény és a telephely jellemzőinek ismeretében lehet a baleset-elhárítási terveket és követelményeket pontosítani.
 - Forrástagok, illetve a leltár és a forrástag viszonya
 - Lehetséges kibocsátási útvonalak
 - Létesítmény kialakítása
 - Telephely jellemzői
 - Fűtőelemek (típusa, összetétele, kiégés maximális szintje, a fűtőelem fizikai-kémiai jellemzői és szerkezete)

- **Az SMR specifikus kérdések**

- A moduláris kialakítás következményei (keresztszennyeződés, elegendő erőforrás biztosítása párhuzamos események bekövetkeztekor,
- A reprezentatív személy távolsága lényegesen kisebb lehet
- A magasabb üzemi hőmérsékletek befolyásolják a csóvaemelkedés mértékét

- Fel kell mérni, hogy vannak-e olyan részterületek, amelyekhez kapcsolódóan szükséges lehet a jogszabályok módosítása
- Figyelemmel kell kísérni a nemzetközi szervezetekben folyó tevékenységet.

- A nukleárisbaleset-elhárítás területén a hazai jogszabályi és szervezeti környezet megfelelő, az SMR beillesztése nem igényel lényeges módosításokat.
- A leendő létesítményeknek is követni kell az aktuális szabályozásban megfogalmazott követelményeket, nem indokolt a létesítmény jellemzői alapján módosítani a baleset-elhárítás tervezési rendszerének előírásait.
- A típus és a telephely jellemzői alapján szükséges lesz az országos baleset-elhárítási tervet aktualizálni és a létesítményi baleset-elhárítási tervet kidolgozni.



Nemzeti
energiapolitika



Nukleáris
biztonság



Menedzsment



Finanszírozási
séma



Jogi
keretrendszer



Nukleáris biztosíték
rendszer



Hatósági
keretrendszer



Sugárvédelem



Villamosenergia
hálózat



Emberi erőforrás
fejlesztés



Érintettek
bevonása



Telephely és
létesítés



Környezeti
hatások



Balesetelhárítási
tervezés



Fizikai védelem



Üzemanyagciklus



Radioaktív
hulladékok



Ipari részvétel



Beszerezési
rendszer

Radioaktív hulladékok:

- Az üzemelés során és a leszerelés kapcsán keletkező különböző aktivitású radioaktív hulladékok keletkezésével kell számolni.
- Az eddigi adatok alapján SMR-ben jóval nagyobb mennyiségű hulladék keletkezik a hagyományos atomerőművekhez képest az egységnyi megtermelt energiára vonatkoztatva, ez a kiégett fűtőelemből származó hulladéokra 5x, a közepes aktivitású hulladékra 30x, a kisaktivitású hulladékra 35x szorzót is jelenthet.
- A kis aktivitású hulladékot megfelelően kondicionálva felszín közeli tárolókban helyezzük el véglegesen, a közepes aktivitású és a nagy aktivitású hulladékokat pedig geológiai tárolókba helyezzük el.
- A kis- és közepes aktivitású hulladék tárolók befogadóképességét figyelembe véve jelentős bővítésre lehet szükség.

Radioaktív hulladékok:

- A nagy aktivitású hulladék, például a kiégett üzemanyag végleges elhelyezésére többszörös mérnöki és geológiai gátrendszer jelenlétére építő, mélységi geológiai tárolókat terveznek üzembe helyezni.
- A különböző reaktorokból származó kiégett üzemanyag egy helyen is tárolható, ehhez megfelelő konténereket kell gyártani.
- Az esetleges reprocesszálás során elkülönített hasadási termékeket is nagy aktivitású radioaktív hulladékként kell kezelni.
- Megfelelő hulladékkezelési és tárolási rendszer kialakításával és működésének optimalizálásával feltételezhető, hogy az SMR nukleáris hulladékok kezelése nem jelenthet komolyabb kihívást a jelenlegi könnyűvízes reaktorokban keletkező nukleáris hulladékokhoz képest.

Radioaktív hulladékok:

- A keletkező radioaktív hulladékok és kiégett fűtőelemek kezelését a jelenlegi Nemzeti Rendszer keretein belül, a Nemzeti Program módosításával kellene megvalósítani. Az új blokkok tulajdonosa igénybe veheti a meglévő magyarországi radioaktív hulladék-kezelési rendszert, beleértve a már meglévő hazai tárolói infrastruktúrát.
- Ha az új SMR blokkok radioaktív hulladékait üzemelő, korábban más hulladék előállítók befizetéséből létesített tárolók bővítésével kívánjuk elhelyezni, akkor felmerülhet a költségek megosztásának kérdése.
- Egy új típusú tulajdonosi háttér felvetheti a Központi Nukleáris Pénzügyi Alap alapképzési szabályainak módosítását, például bizonyos esetekben megfontolandó a teljes hulladékkezelési költségek megfizettetése az üzemidő első szakaszában.

- **A meglevő jogi szabályozás és meglevő műszaki infrastruktúra megfelelőnek látszik az általunk tárgyalt 3 modul szempontjából,**
- **Az újonnan létesítendő SMR integrálásáról a hazai nukleáris energia-termelés rendszerébe majd a specifikus műszaki paraméterek ismeretében kell dönteni,**
- **A projekt további két lépésben vizsgálja az eddig felvetett kérdéseket, az egyik április végéig, a végső jelentés pedig az év végéig készítendő el.**

Köszönöm a
figyelmet!