

## **Atomenergetikai innovációk az energiabiztonság és a klímavédelem szolgálatában – globális trendek és hazai kapcsolódások**

### **Az energiaválság hatása a magyar és európai nukleárisenergia-programokra**

Az energetika az elmúlt 30 évben folyamatosan a közérdeklődés középpontjában volt, még akkor is, ha nem feltétlenül ez volt a legforróbb téma a társasági beszélgetések során. A klímavédelmi kérdések mellett a COVID-járvány miatt megjelent, hogy a fenyegető recesszióból hogyan lehet kivezetni a fejlett világ gazdaságait. Ebbe az instabil helyzetbe robbant be az orosz–ukrán háború, és a nyomában kialakuló energiaellátási válsághelyzet. Ez minden korábbinál egyértelművé teszi, hogy az energiaellátás biztonságáról nem csak a politikai szólások, hanem a műszaki és piaci intézkedések szintjén is gondoskodni kell.

Az atomenergia a kialakult energiaellátási válsághelyzet megoldásának egyik kulcseleme, hiszen karbonsemleges energiaforrás, az üzemanyaga jól készletezhető, aminek a beszerzése diverzifikálható, az atomerőművekben megtermelt villamos energia egységköltsége alacsony, és ráadásul zsinóráram termelésre képes, hiszen a működése nem függ sem a napszakok, sem az évszakok változásától.

Az előadás azt tekinti át, hogy a jelen helyzetben az egyes európai országok, ezen belül Magyarország milyen mozgástérrel bír, és mit tehet az atomenergia energiamixen belüli szerepének fejlesztése tekintetében.

### **EU zöld taxonómia és atomenergia**

Az EU zöld taxonómia a környezeti szempontból fenntarthatónak minősített ipari tevékenységeket osztályozza és rendszerezi, azzal a céllal, hogy a befektetéseket fokozottan a környezeti szempontból fenntartható ipari tevékenységek felé terelje. Az előadás először sorra veszi azokat az eseményeket, melyek azt eredményezték, hogy az atomenergia – a megújulókat használó különféle villamos energiatermelési technológiák mellé – 2023. január 1-étől bekerült az Európai Unió zöld taxonómia keretrendszerébe. Részletesen ismerteti az Európai Bizottság megrendelésére a Joint Research Centre kutatóintézet által készített riport tartalmát és fő következtetéseit. A fenti JRC riport a teljes atomenergia életciklusra vonatkozó „jelentős károkozás

elkerülése” („do no significant harm”) elemzést tartalmazta az EU zöld taxonómia konvencióinak megfelelően. Az előadás végül az atomenergiához kapcsolódó azon tevékenységeket ismerteti, amelyeket az Európai Bizottság beemelt a zöld taxonómiába: az új, 3. generációs atomerőművek építése és üzemeltetése, atomerőművek üzemidejének meghosszabbítása és a zárt üzemanyagcikluson vagy önszaporító üzemanyagon alapuló negyedik generációs reaktorok fejlesztése. Az Európai Bizottság a zöld taxonómia kibővítésével azt ismerte el, hogy a tudomány mai állása szerint az atomenergia hatékonyan képes elősegíteni a klímaváltozás hatásainak mérséklését.

### **A moduláris atomerőművek lehetőségei és kívánatos hozzájárulásuk a klímavédelemhez**

Az IPCC Sixth Assessment Report-ja rámutatott, hogy gyors fordulat nélkül a katasztrofális klímaváltozás elkerülhetetlenné válik. Az üvegházhatású gázok antropogén kibocsátásában az energiatermelés döntő hányadot jelent (34%), így ennek csökkentése alapvető feladat.

Az atomerőműveket jellemző evolúciós fejlesztés az egyre bonyolultabb biztonsági rendszerek költségeit az egyre nagyobb egységteljesítménnyel próbálta ellensúlyozni. A közelmúlt tapasztalatai alapján azonban ez zsákutca. Az utóbbi évtizedben lendületet kapott moduláris atomerőművek (SMR) fejlesztése, és ez lehetőséget kínál a megújuló forrásokból származó növekvő termelés szimbiotikus kiegészítésére, amely nélkül – egyes vélemények szerint – a klímavédelmi célok elérése reménytelennek tűnik.

A moduláris atomerőművek gyors bevezetése azonban csak bizonyos alapelvek ártértékelésével lehetséges. Az előadásban ezekről és egyes technikai kihívásokról is szó esik.

### **Mikor lehet SMR-ünk? – Az atomerőművi kisreaktorok fejlettségi státusza**

A moduláris kisreaktorok (Small Modular Reactor, SMR) a közeljövő leginkább perspektivikusnak tekintett nukleáris berendezései. Innovatív gyártástechnológiájuk, fejlett biztonságuk, rugalmas üzemeltethetőségük következtében ezen típusok

lakossági elfogadottsága is magasabb a hagyományos nagyméretű atomerőművi reaktorokénál. A jelenlegi bizonytalan energiapiaci helyzet tovább növeli az új megoldások iránti nyitottságot.

Az előadás megkísérli feltérképezni az SMR-típusok valós technológiai érettségét, illetve engedélyezésük előrehaladottságát annak érdekében, hogy választ kaphassunk a címben feltett kérdésre.

### **Szuperkritikus vízhűtésű kis moduláris reaktorkoncepció fejlesztése**

A fenntartható, proliferációálló, gazdaságos és fokozott biztonsággal jellemezhető negyedik generációs atomreaktorok egyik kutatott típusa a szuperkritikus vízzel hűtött reaktorkoncepció (SCWR). Az SCWR-ek ötvözik a könnyűvízes reaktorok előnyös tulajdonságait a magas hatásfokú, magas hőmérsékletű és nyomású konvencionális erőművekével.

A BME Nukleáris Technikai Intézete részt vesz az ECC-SMART elnevezésű Horizont 2020 kutatási projektben, melynek célja egy szuperkritikus vízhűtésű kis moduláris reaktorkoncepció (SCW-SMR) kidolgozása. Az SCW-SMR magasnyomású hűtőközegének hőmérséklete az aktív zónán történő áthaladás és melegedés során a kritikus ponti hőmérséklet fölé emelkedik, a munkaközeg a zónából való kilépést megelőzően szuperkritikus állapotba kerül. A szuperkritikus állapotba történő átmenet során a hűtőközeg sűrűsége jelentősen csökken, amely hatással van a közeg neutronlassítási képességére, ezáltal a reaktorbeli teljesítmény- és hőmérséklet-eloszlásra is. A BME NTI kutatói a fejlesztés alatt álló reaktorkoncepció termohidraulikai és reaktorfizikai vizsgálatával járulnak hozzá a koncepciótervek kidolgozásához.

### **A gyorsreaktorok szerepe a nukleáris üzemanyagciklusban**

A gyorsreaktorokban a ma üzemelő reaktorok túlnyomó részét kitevő termikus reaktorokkal szemben a hasadásokat nagy energiájú, gyors neutronok váltják ki. Ez előadás bemutatja a gyorsreaktorok működésének alapelveit, és hogy milyen előnyöket kínálnak uránkészletek jobb hasznosítása és a nagyaktivitású hulladék mennyiségének csökkentése révén. Bemutatásra kerül az Európai Unió Horizont 2020 programjának

keretében zajló PuMMA projekt is, amelyben az Energiatudományi Kutatóközpont és a BME Nukleáris Technikai Intézet munkatársai is közreműködnek. A kutatási projekt célja annak vizsgálata, hogy gyorsreaktorok segítségével hogyan lehet a kiegészítő nukleáris üzemanyagban felhalmozódó plutóniumot optimálisan hasznosítani.

### **Az ALLEGRO gázhűtésű gyorsreaktor fejlesztése**

A nukleáris energiatermelés hosszú távú fenntarthatóságának érdekében aktívan kutatják a gyorsreaktor technológiákat. A fő cél az, hogy az új, úgynevezett negyedik generációs rendszerek alkalmazása a jelenleg elterjedt, harmadik generációs, termikus reaktorokhoz képest kevesebb radioaktív hulladék-termeléssel járjon és még biztonságosabb legyen. Az egyik legígéretesebb koncepció a gázhűtésű gyorsreaktor (Gas-cooled Fast Reactor, GFR), azonban korábban még nem épült ilyen rendszer. Az első GFR a fejlesztés alatt álló, 75 MW teljesítményű, héliumgáz hűtésű ALLEGRO lehet, melynek célja a GFR specifikus rendszerek és innovatív fűtőelemek biztonságos használatának demonstrálása.

Magyar egyetemek és kutatóintézetek, köztük az Energiatudományi Kutatóközpont és a BME Nukleáris Technikai Intézete tevékeny részt vállalnak az ALLEGRO reaktor fejlesztésében. A jelenleg futó Euratom SafeG projekt keretében aktívan kutatják például az olyan kerámia üzemanyagok alkalmazhatóságát, amellyel extrém magas hőmérsékleten ( $>800$  °C), és így kiváló hatásfokkal üzemelhet a reaktor. Mielőtt megépülhetne a reaktor, számításokkal kell bizonyítani a biztonsági követelmények teljesülését, amelyhez a mai legkorszerűbb számítási eszközök továbbfejlesztésére is szükség van. Az előadás során bemutatásra kerül, hogy számítógépes szimulációk segítségével hogyan tudunk biztonságos és a tervezési követelményeknek megfelelő reaktorzónát tervezni.

### **A gyorsreaktor-kutatások és -technológiák helyzete az Egyesült Államokban**

(angol nyelven)

Az előadás áttekintést ad az USA energiapolitikájáról és a gyorsreaktorokkal kapcsolatos kutatás-fejlesztési erőfeszítésekről. Az amerikai magánszektorban jelentős érdeklődés és befektetések figyelhetők meg a fejlett reaktortechnológiák irányába.

Több tucatnyi nukleáris vállalkozás dolgozik fejlett technológiákon az alkalmazások széles skáláját megcélózva. A gyorsreaktorok területén tucatnyi vállalkozás egy Gyorsreaktor Munkacsoportot hozott létre, amely értékes visszajelzéseket ad a kutatás-fejlesztési prioritásokról az Energiaügyi Minisztériumnak (DOE), a Nuclear Energy Institute-nak (NEI) és a nemzeti laboratóriumoknak. Felismerve a fejlett reaktorok fontosságát az ország energiabiztonsági és klímavédelmi céljainak teljesítésében, a 2020-as pénzügyi évben elindították az Advanced Reactor Demonstration Programot (ARDP), amely iparági partnerségek kialakítását célozza meg olyan fejlett reaktorok létesítése terén, amelyek megépítése és üzemeltetése biztonságos és megfizethető. A program megvalósításának elősegítése érdekében a DOE Nukleáris Energia Hivatal (NE) 2020 májusában finanszírozási lehetőséget hirdetett a legígéretesebb hazai fejlett reaktortervek számára a technológiai érettség széles spektrumában, majd kiválasztott tíz olyan projektet, amelyek a következő két évtizedben kifejleszthetők. A projektek közül négy gyorsreaktor-koncepció, köztük a Terrapower Natrium nátriumhűtésű gyorsreaktora. Az Egyesült Államok gyorsreaktor-fejlesztéseiről adott áttekintés mellett, az előadás bemutat több DOE programot, köztük a Versatile Test Reactort, a gyorsreaktorok fémes üzemanyagának minősítését, és a Gyorsreaktor Program kutatásait, a technológiák, számítási módszerek, gyorsreaktor-adatbázisok és anyagok fejlesztése terén.