



Energiatudományi  
Kutatóközpont

Kihívások a nukleáris energetika, az energiabiztonság, a  
környezetvédelem és az anyagtudományok területén

K+F+I Stratégia 2020-2025

2020.

# Az Energiatudományi Kutatóközpont intézeteinek kutatási stratégiája

2020. január

A Kormány 2020-ban tette közzé a Nemzeti Energiastratégiát, amely 2050-ig az energiatermelés teljes dekarbonizációját tűzi ki célul, az európai törekvésekkel összhangban. A stratégia egyik fő pillére a fenntartható energiaellátás biztonsága, az importtól való függés csökkentése. A célok elérésének érdekében az atomenergia és a megújuló energiaforrások együttes felhasználása hangsúlyos szerepet kap. A környezetvédelem és az anyagtudomány az energetikához hasonlóan kiemelt fontosságú terület. Az energiatermeléshez kapcsolódó környezetvédelmi kérdésekkel célszerű az energetikai kutatások kereteit kibővíteni. Egyrészt igen fontos az objektív vélemény kialakítása az energiatermelés környezeti és egészségi hatásairól, valamint az energiatermelés során keletkező hulladékok elhelyezéséről és újrahasznosításáról. E kérdések megnyugtató rendezése nemcsak az atomenergetika jövője szempontjából lényeges, de az energetika minden ágazatában fontos. Másrészt az energiagazdálkodásnak alapvető része az energiatakarékos és környezetbarát megoldások keresése, a kapcsolódó új anyagok és technológiák kidolgozása, melyhez nélkülözhetetlen az anyagtudományi kutatások eredményeinek felhasználása.

Ugyanakkor az anyagtudományi, kémiai és analitikai kutatások, új funkcionális anyagok, szenzorok feltárásával a Kutatóközpont jelentősen hozzájárul a társadalmi kihívások megoldásához, az egészség megőrzéséhez, okos városok kialakításához, új a korábbinál jobban hasznosítható termékek előállításához és nem utolsósorban a kulturális javaink megőrzéséhez és eredetük megismeréséhez. Az anyagtudományok fejlődésének egyik fontos analitikai eszköze a sugárzások és az anyag kölcsönhatásának vizsgálata, amelyhez a központ hazai és nemzetközi viszonylatban is jelentős kutatási infrastruktúrát üzemeltet. Ezek a Budapesti Kutatóreaktor (BKR), a számos elektron mikroszkópra épülő laboratórium, a mikroelektronikai laboratórium és a sugárzások biológia és kémiai hatásával foglalkozó laboratóriumok. Ezek közül a BKR nyílt pályázati rendszeren alapuló nemzetközi kutatási infrastruktúra, amely a világ bármely részéről érkező kutatási javaslatokat valósít meg.

Az Energiatudományi Kutatóközpont tevékenységét három tudományos intézet köré szervezzük: i) Atomenergia-kutató Intézet (AEKI), ii) Energia- és Környezetbiztonsági Intézet (EKBI), iii) Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet (MFA)

## 1. Energetika, környezet és roncsolásmentes analitika

*Intézetigazgató: Dr. Belgya Tamás*

Az Energia- és Környezetbiztonsági Intézet tevékenysége a nem nukleáris energetika azon kutatási irányaira terjed ki, amelyek a korábbi évtizedek kompetenciáival megközelíthetők. Az Intézet hosszú évtizedes tapasztalatokkal rendelkezik a katalitikus kémia, sugárkémia, a nukleáris analitika és a környezetfizika területén. A 2012-ben megújított közép és hosszú távú kutatási stratégia alapján az Intézet fontosabb, a társadalmi kihívásokra választ adó feladatai a következők:

- Hő- és villamosenergia-termelés -szállító és -elosztó rendszereinek és környezeti hatásainak kutatása, melyben egyik **fontos célunk az energetikai szakpolitikai döntés-előkészítés segítése**;
- Energiatermelő és -tároló folyamatok környezetkímélő, gazdaságos és energiatakarékos kémiai módszereinek kísérletes kutatása megújuló energiák bevonásával;
- Az innovatív oxidációs, víztisztítási eljárások radiokémiai és nagyhatású oxidációs módszereinek kutatása;
- A Budapesti Kutatóreaktornál (BKR) működtetett analitikai és képző kísérleti berendezések folyamatos fejlesztése, felújítása és magas szintű hasznosítása **nemzetközi és hazai kutatók bevonásával, nyílt és kiválóságon alapuló hozzáférés biztosításával**, amelyet Budapesti Neutron Centrum (BNC) végrehajtó testülete koordinál. A szükséges felújításokat, amelyek akár egy nagyságrendi teljesítménynövekedést is lehetővé tesznek az előző év végére elkészült Neutronkutatói Útiterv foglalja össze, mely a reaktor leállása utáni új neutronforrásra is javaslatot tesz;
- Részvétel a CERIC ERIC (Central European Research Infrastructure Consortium) elosztott analitikai kutatási infrastruktúra munkájában;
- Aktív részvétel az egyetemi oktatásban, a kutatási infrastruktúra felhasználásával, TDK, BSc, MSc, PhD diákok, továbbá a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség által delegált külföldi kutatók képzése.

*A stratégia részletezett környezete, hazai együttműködések, ipari kapcsolatok:*

A BNC együttműködik az E-RISH PP projektben az Atomki kutatóival, melynek célja egy archeometriai ERIC létrehozása. 2018-ban új együttműködési megállapodást született az Ökológiai Kutatóközpont a gyógyszermaradványokat érintő sugárkémiai kutatásokkal kapcsolatban. A Pannon Egyetemmel kapcsolatot építenek ki bioüzemanyag reaktorrendszer fejlesztésére. A TTK AKI-vel a megújuló energiák területén nagyrészt komplementer kutatásokat folytatunk. A tüzelőanyag-cellák elektrokatalizátorait az AKI-ban fejlesztik, itt pedig lehetőség van a katalizátorokat tartalmazó elektródák (membrán elektród együttesek - MEA) diagnosztikájára. Ez utóbbi két kapcsolat egy lépéssel közelebb visz bennünket a Nemzeti Infrastruktúra Útitervben az Energia Kutatói Infrastruktúrák közötti kapcsolat felépítéséhez.

Együttműködünk a Pécsi Tudományegyetemmel a Biomedical Engineering altémában, amely szintén a Kutatóreaktor kapacitásaihoz kapcsolódik. A kutatóink részt vesznek az ELTE, BME, ÓE, PTE, DE, SZTE és SZIE egyetemi oktatásban, továbbá a BNC nyílt infrastruktúra hozzáférés biztosítása során hozzájárulnak külföldi egyetemek doktori képzéséhez is.

Az intézet számos hazai és külföldi ipari kapcsolattal rendelkezik, melyekben rendszerint egyedi megállapodásokon alapuló méréseket végeznek K+F keretében.

*A stratégiát megvalósító kutatócsoportok:*

Az Energia és Környezetbiztonsági Intézet tudományos tevékenysége öt kutatócsoport köré szerveződik.

### ***Környezetfizikai Laboratórium (Energetika és környezet alkalmazott fizikai és kémiai kutatása)***

A 2030-ra és 2050-re kitűzött klímacélok és az energiaellátási célok egyidejű teljesítése igen nagy kihívás Magyarország számára, ezek leginkább az épületenergetika és a közlekedés jelentős elektrifikációjával valósíthatók meg. A laboratórium energia szimulációs csoportja az elmúlt években kiemelkedő eredményeket ért el az időjárásfüggő megújuló alapú villamosenergia-termelés időszakos többlet termelésének befogadásához szükséges energiátárolási és hálózat fejlesztési műszaki igények felmérésével. A jövőben a közép feszültségű elosztó-hálózati típusmodellek felhasználásával végzett sztochasztikus szimulációkkal megállapítható lesz a magyarországi hálózati topológiák befogadó kapacitása és követelményeket lehet támasztani ellenállóbb hálózati topológiai típusokra, ami elengedhetlen feltétele a megújuló kapacitások további hatékony bővítésének.

E kutatások mellett fontos szerepe van az energiatermelés környezeti hatásainak és e hatások minimalizálására vonatkozó kutatásoknak. Ezért folytatni kívánják a nagy aktivitású radioaktív hulladékok biztonságos elhelyezésének, továbbá a levegőbe kerülő radioaktív anyagok és az energiatermelés során a légkörbe kibocsátott káros anyagok hatásának a kutatását. Részt vesznek az ESS detektor és sugárvédelmének fejlesztésében.

### ***Felületkémiai és katalízis Laboratórium (Energetika és Anyag kémiai kutatása)***

(1) A vízbontással termelt tiszta  $H_2$  kiváló energiahordozó, amely jelentősen hozzájárulhat a megújulókon alapuló energiagazdaság stabilitásához. A  $H_2$  termelését segítő új, költséghatékony (foto)elektród-katalizátorokat kutatunk gyakori kémiai elemek alkalmazásával. (2) Az üvegházhatású  $CO_2$ -t hasznos termékekké alakíthatják  $CH_4$ , vagy  $H_2$  segítségével megfelelő heterogén katalizátorokat alkalmazva, amelyeknek összetétel-függő viselkedését tovább kutatják. (3) Biobázisú (üzem)anyagok  $^{14}C$ -tartalmának mérésével a biomassza eredetű komponenst (a jelenleg használt komplex és drága módszerekkel szemben) egy direkt módszerrel is sikeresen tudják meghatározni, amelyet továbbfejlesztenek, továbbá nemzetközi szinten, szélesebb körben kívánják alkalmazni.

### ***Nukleáris Analitikai és Radiográfiai Laboratórium (Anyag és energetika alkalmazott fizikai és kémiai kutatása)***

A labor célja anyagtudományi, archeometriai, geokémiai, kémiai és nukleáris technológiai témájú alkalmazott kutatási feladatok megoldása, valamint roncsolásmentes anyagvizsgálatot igénylő speciális ipari megbízások teljesítése a Budapesti Kutatóreaktor mellett működő neutronos analitikai és szerkezetvizsgálati mérőállomások, illetve kiegészítő röntgen-alapú technikák segítségével. Nemzetközileg elismert kutatómunka folytatása a kapcsolódó magfizikai, a reaktor anyagok nukleáris adatai, módszertani, mérés-technikai és számítógépes szimulációs területeken, valamint az egyedi módszerek optimális kombinálása terén. Részvétel a CERIC-ERIC elosztott kutatási infrastruktúra és más egyéni vagy konzorcium keretében a

már elnyert H2020 IPERION HS (Archeometria), H2020 ARIEL (Nukleáris adatok oktatása), H2020 TOURR (EUs Kutatóreaktorok működésének optimalizálása), H2020 EURAD (Nukleáris hulladékok kezelése) és a V4-korea-RADCOM (V4 országokból származó beton alapanyagok vizsgálata) projektek, illetve más kutatási és oktatási pályázatok, továbbá a NAÜ, a „League of advanced European Neutron Sources” (LENS) munkájában.

### ***Neutronspektroszkópai Laboratórium (Anyag alap és alkalmazott fizikai kutatása)***

Az Intézethez 2020-ban csatlakozó laboratórium feladata a meglévő alap és alkalmazott kutatási célú, neutronos berendezéspark – hat spektrométer – hatékony és magas színvonalú működtetése, amelyhez kapcsolódóan mind a berendezés-vezérlő, mind az adat-gyűjtő, adatfeldolgozó rendszerek felújítása fokozatosan megtörténik. Középtávon két berendezés áttelepítése várható a leálló berlini HZB neutronközponttól, egy új hidegneutron moderátor fejlesztése és üzembe helyezése, valamint a neutronvezető-rendszer átfogó felújítása. Ezzel egy időben a nagy európai neutronkutatási infrastruktúrát szolgáltató (LENS) és a felhasználókat képviselő (ENSA) szervezetek és a CERIC-ERIC szorgalmazta adattárolási (Open Data) és megjelenítési szabványok, valamint elérési igények (Open Access) megvalósítása irányába tesznek erőfeszítéseket. A laboratórium munkatársai intenzív kapcsolatban állnak a MIRROTRON kft.-vel a neutron optikai termékek és mérőállomások fejlesztésben, továbbá részt vesznek az ESS mérőberendezéseinek fejlesztésében, a H2020 IPERION HS, valamint a H2020 CREMLIN+ (Orosz reaktor és gyorsító kutatási infrastruktúrák fejlesztése) projektekben.

### ***Sugárkémiai Laboratórium (Környezet alap és alkalmazott kémiai kutatása)***

Édesvíz vagyunk tisztaságának megőrzése kiemelten fontos feladat, ezért folytatják a szennyvizekben található szerves anyagok ionizáló sugárzással történő lebontásának kísérleti kutatását. A kidolgozás alatt álló módszer kiegészítő lépés lehet a hagyományos szennyvízkezelési eljárások mellett, amelynek tudományos hátterét teremtik meg. Ez a kiegészítő módszer különösen fontos olyan stabil szerves anyagok esetében, amelyet a baktériumok nem tudnak lebontani vagy elpusztulnak tőle, illetve rezisztenssé válnak rájuk. Ilyenek pl. a gyógyszer molekulák vagy a festékanyagok.

## **2. Fizikai anyagtudomány**

*Intézetigazgató: Dr. Pécz Béla*

Az EK Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet (EK MFA) fő feladata nem változott az elmúlt években: kutatások végzése nanoméretű funkcionális anyagokon, feltárva azok fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságait, valamint az ismeretek hasznosítása integrált nano/mikroeszközökben, szenzorokban és roncsolásmentes vizsgálati módszerek fejlesztésében. Ehhez járulnak olyan anyagtudományi vizsgálatok, melyek megújuló energia témaköréhez tartoznak. Fontos feladata a KKV-k és az egyetemi oktatás segítése, a kutatási

infrastruktúra felhasználása a felsőoktatás (TDK, BSc, MSc, PhD) képzés támogatására Open Access Laboratory jelleggel.

- Új érzékelő eszközök demonstrálása alapkutatói eredmények felhasználásával, félvezető nanoszálak, ferroelektromos oxidok, piezoelektromos rétegek.
- Integrált, viselhető szenzorrendszerek és implantálható mikrorendszerek fejlesztése orvostechikai célokra. Mikrofluidikai rendszerek kémiai és sejtanalitikai célokra.
- Jelölésmentes optikai módszerek fejlesztése egyedi sejtek vizsgálatára. Sejtek hatóanyag stimulusokra adott válaszainak vizsgálata érzékelők fejlesztésével.
- Új kétdimenziós anyagok előállítása, atomi és elektronszerkezetének feltárása, tulajdonságaik tervezett módosítása saját fejlesztésű nanotechnológiai eljárásokkal.
- Kémiaiilag szelektív optikai gőzérzékelés bioinspirált nanoarchitektúrákkal.
- Korszerű félvezető eszközök szerkezeti kutatása, transzmissziós elektronmikroszkópia. Grafénnal adalékolt kerámiák és biokerámiák fejlesztése,
- Roncsolásmentes anyagvizsgáló eljárások fejlesztése ipari alkalmazásokhoz.
- A fizika módszereinek alkalmazása sokszereplős biológiai, társadalmi rendszerekre.

A terület erősségét jelzi a futó ERC pályázat, Graphene Flagship részvétel, a 3 megnyert Lendület és az elnyert Élvi pályázat, több EU H2020 projekt. Infrastruktúrájuk az elnyert VEKOP pályázatoknak köszönhetően jelentősen javult. Ez újabb nemzetközi jelentőségű tudományos eredmények elérését teszi lehetővé.

2019-ben már öt EU hálózati pályázatot adtak be. Egy M-ERA.NET pályázatuk éppen most nyert. A nemzetközi kutatói hálózatokban való szereplésük egyértelműen bővül.

Ipari partnerekkel közös fejlesztéseket folytatnak az elektronika, a modern egészségügy érzékelői terén. A technológia orientált magyar cégeknek eredményeket adnak át.

Tevékenységük mind a gazdasági, mind a társadalmi kihívásokhoz illeszkedik. Elsősorban az Ipar és Digitalizáció témakörbe tartozik, mint műszaki tudomány és fizika, de érinti az energia és az egészség témaköröket is. Ugyanakkor az Innováció a versenyképességért társadalmi kihívás területen fejlesztésekkel és mérési szolgáltatásokkal állnak az ipar rendelkezésére, a Tudomány a jövőnkért területen a nemzetközi tudományos siker és pályáorientáció segítése (nyári iskola, women in science) biztosított.

Az anyagtudományi kutatások az alábbi hét kutatócsoport köré szerveződnek:

### ***Nanoszerkezetek Laboratórium***

A Nanoszerkezetek Laboratórium fő kutatási irányait egy ERC Starting Grant, a Graphene Flagship, egy futó és egy véglegesített Lendület projekt és az évtizedes múltra visszatekintő Koreai-Magyar Közös Nanotudományok Laboratórium határozzák meg a kétdimenziós (2D) anyagok kutatása terén. Tevékenységük magában foglalja különböző 2D anyagok előállítását, szerkezetük atomi szintű karakterizálását és nanotechnológiai eljárásokkal történő módosítását, valamint a kialakított nanoszerkezetek tulajdonságainak feltárását, Mindezt, a Magyarországon egyedülálló, alacsony hőmérsékletű pásztázó alagútmikroszkópos berendezésekre alapozva. A több mint tíz éve folytatott grafénkutatás mellett, mára a hangsúly az új 2D anyagok, valamint

topologikus szigetelő kristályok kutatásán van. A 2D anyagok kutatása mellett, továbbra is aktívan kutatják a biológiai eredetű és bioinspirált fotonikus nanoszerkezeteket.

Középtávú stratégiájuk: Új kétdimenziós kristályok előállítása, valamint elektromos, mágneses, optikai és katalitikus tulajdonságaik feltárása. Ezen anyagok szerkezetének atomi pontosságú módosítása, az említett tulajdonságok célzott hangolására. Különböző 2D kristályokból rétegenként épített 2D hetero-struktúrák, tömbök (mesterséges kristályok) előállítása. A kívánt tulajdonságok elérésre, az új kristályt atomi rétegenként építjük fel, az egymást követő rétegek összetételének és egymáshoz viszonyított elforgatásának (szerkezet) pontos szabályozásával. Új topologikus szigetelő anyagok előállítása és topológiailag védett állapotaik vizsgálata. Kémiai szelektív optikai gőzérzékelés optimalizálása bioinspirált fotonikus nanoarchitektúrákkal és az ilyen nanoszerkezetek biológiai kialakulásának kutatása. Az új anyagok demonstrációs eszközökbe integrálása.

### ***Vékonyréteg-fizika Laboratórium***

A Vékonyréteg-fizika Laboratórium kutatási irányai a különféle vékonyrétegek és bevonatok fejlesztése, a modern 2D félvezető rétegek és heteroátmenetek kutatása; a műszaki és biokerámia fejlesztése, újfajta rétegezett  $\text{Si}_3\text{N}_4$  /grafén kompozit, valamint nanoszerkezetű kalciumfoszfát fejlesztése és vizsgálata; továbbá transzmissziós elektronmikroszkópiái (TEM) mintapreparálási, metodikai és vizsgálati módszerek fejlesztése és ilyen vizsgálatok végzése.

Középtávú stratégiájuk: Folytatják a „Stratégiai műhely a megújuló alapú energiarendszer technológiai kihívásaira” VEKOP projekt kutatási feladatait, amelyben új  $\text{Fe}_2\text{S}_2$  és  $\text{FeSiS}_4$  rétegeket dolgoznak ki és tanulmányoznak. Folytatják kerámia kompozitok fejlesztését FLAG-ERA), valamint többrétegű  $\text{Si}_3\text{N}_4$  -  $\text{Si}_3\text{N}_4$  / grafén - grafén bevonatok bevonatok kerámia kompozitok fejlesztését (FLAG-ERA), valamint a nanoszerkezetű átlátszó AlON kerámiák fejlesztését is. Nanoszerkezetű biokerámia kutatásaik a tojáshejéből portechnológiával és lúgos módszer alkalmazásával kalciumfoszfát előállítási lehetőségeit tárják fel. Új fizikai tulajdonságokkal rendelkező 2D félvezető rétegeket és eszközöket (FLAG-ERA) állítanak elő és tanulmányoznak. Az újgenerációs THEMIS mikroszkópnak köszönhetően várhatóan több hazai és nemzetközi projektben tudnak majd részt venni, valamint több ipari együttműködési megkeresést kap a Laboratórium. Tervezik az ország egyetlen gömbi hiba korrigált mikroszkópjában az *in situ* vizsgálatok (első lépésként fűthető mintartó MEMS chip fűtéssel, fázisátalakulások követésére) megvalósítását. Kiemelten fontos lesz a modern transzmissziós elektronmikroszkópia oktatása a potenciális felhasználóknak, hiszen ez az anyagok és anyagszerkezetek karakterizációjának új módszere. Tradicionális kutatási területük a GaN és a széles tiltott sávú félvezetők szerkezete, elektron diffrakción alapuló metodikai és TEM minta előállítási fejlesztések. Ezen alapkutatások segítségével kimutatják a szerkezet hatását az újonnan fejlesztett anyagok tulajdonságaira, mely nélkülözhetetlen az optimális szerkezet irányított létrehozásában.

### ***Nanoérzékelők Laboratórium***

A Nanoérzékelők Laboratórium célja a nanotechnológia és anyagtudomány területén elért legfrissebb alapkutatói eredmények alkalmazása új típusú fizikai érzékelőkben, különös tekintettel a mikro- és nanoméretű elektromechanikai szenzorokra. Ehhez kapcsolódóan a Laboratórium egyaránt foglalkozik piezoelektromos anyagok kutatásával, félvezető alapú nanoérzékelőkkel, valamint alacsony fogyasztású, ill. önálló szenzorrendszer fejlesztésével. A munkatársak egy hazánkban egyedülálló nanopreparációs laboratóriumot működtetnek, mely a Nemzeti Kvantumtechnológiai Program (HunQuTech) egyik kiemelt kísérleti infrastruktúrája. Emellett egy másik hazai együttműködésben atomi skálán memrisztív kapcsolást mutató nanoeszközöket hoznak létre.

Középtávú stratégiájuk: a rendszerintegrációban elért tapasztalatokat felhasználva gyakorlati problémák megoldására alkalmas nanoszenzor alapú prototípusok fejlesztése; a nanoanyagok és érzékelők területén szerzett ismeretek alapján új témák kezdeményezése szubmikron méretű aktuátorok és nanorobotok irányába. Mindezeket –a korábbi gyakorlatnak megfelelően– igyekeznek a hazai együttműködések mellett nemzetközi projektek keretében is kutatni.

Szintén tervezik egy nano-vibrációs laboratórium kialakítását, mely több modern kutatási témában is alkalmazható, pl. a nagy jósági tényezőjű rezonátorok, a szubnanométer felbontású aktuátorok valamint a vibrációs energiagyűjtők (vibrational energy harvesters) területén. Mindez jelentős lépés lenne egyes detektorok áramellátás nélküli önálló működtetése és "narrow band IoT" rendszerek kialakítása felé.

### ***Mikrorendszerek Laboratórium***

A Mikrorendszerek Laboratórium munkatársai olyan mikro és nanorendszerek, érzékelő szerkezetek fejlesztésén, kialakításán és integrációján dolgoznak, amelyek alkalmazása új perspektívákat nyithat az orvosi diagnosztika, a Minimálisan Invazív Műtéti eljárások, ill. az energia-hatékony autonóm rendszerek (szenzorhálózatok, önvezető autók) alkalmazásának területén is. Emellett kutatásaik az optikai alkalmazások (spektroszkópia), és a környezetanalitikai és –biztonsági (gázérzékelő) szenzorok területére is kiterjednek.

Középtávú stratégiájuk:

MEMS és NEMS rendszerekben alkalmazható érzékelési alapelvek kutatása és hasznosítása integrált, hordozható / hordható / implantálható, autonóm eszközökben. Érzékelő rendszerek fejlesztése újszerű és komplex mikro- és nanoszerkezetek kialakításával és integrálásával környezetanalitikai / kémiai (gáz és szennyezőanyag kimutatás), fizikai (mechanikai, optikai, termikus), orvosi (mikrofluidikai, biokémiai, fiziológiai és elektrofiziológiai) alkalmazásokhoz, és ezek működésének validálása valós körülmények között. Speciális mikrofluidikai rendszerek fejlesztése a mintaszállításához, mintaelőkészítéshez és elemzéshez Lab-on-a-Chip / Organ-on-Chip eszközökben. Molekuladetektáláshoz alkalmazható szilárdtest nanofluidikai szerkezetek megmunkálási technológiájának kutatása és fejlesztése. Szélessávú és több karakterisztikus emittált hullámhosszal rendelkező infravörös fényemittáló diódák



(NIR LED) fejlesztése, hasznosítása spektroszkópiai alkalmazásokra: környezetanalitikai, élelmiszerbiztonsági és orvosdiagnosztikai célokra, ami megalapozott igényekkel találkozik a mai miniatürizált, integrálható és hordozható analitikai berendezések fejlődő piacának irányából. Megfelelő technológiai fejlettségi szintű (TRL1-TRL6, alapkutatástól prototípusig) funkcionális félvezető, mikro- és nanoelektromechanikai szerkezetek és előállítási technológiájuk fejlesztése, új anyagok létrehozása és alkalmazása valamint technológiai transzfere ipari igények alapján, ipari partnerek számára.

### ***Fotonika Laboratórium***

A Fotonika Laboratórium egyedi módszereket és eszközöket fejleszt felületi nanoszerkezetek és anyagok roncsolásmentes optikai és mágneses méréséhez (spektroszkópia; mágneses anyagvizsgálat; bioszenzorok; felületek görbültsége; felületek tisztasága; víz szennyezettsége).

Középtávú stratégiájuk: Roncsolásmentes anyagvizsgálati és karakterizációs módszerek fejlesztése és továbbfejlesztése: az ipari anyagok mágneses teszteléséhez, egyrészecskés spektroszkópiai vizsgálatokhoz és nanoszerkezetek előkészítéséhez, valamint felületek optikai érzékeléséhez és minősítéséhez. Új mérési elvek feltárása, a pontosság és a megbízhatóság növelése, az eredmények hasznosítása szabadalmakban, ipari és kutatási együttműködésekben és az oktatásban. Önszerveződő nanorészecske klaszterek előállítása és optoelektronikai alkalmazása, plazmonika. A célzott alkalmazások között szerepel az atomerőművi és gépipari szerkezeti anyagok minősítése is.

A Fotonika Laboratórium hazai és nemzetközi pályázatokban egyaránt sikeres. Az utóbbi két évben 5 új OTKA pályázat és egy M-ERA.NET pályázat nyertesei. Meghatározó partnerei egy atomerőművi roncsolásmentes mérés technikát fejlesztő H2020 projektnek, és résztvevői voltak a közelmúltban lezárult cirkónium anyagtudományi kutatásokat megcélzó 1500 MFt költségvetésű projektnek. A Laboratórium egyenletesen jó teljesítményt mutat alkalmazott és alapkutatási területeken egyaránt. Hazai és nemzetközi partnereinek bázisa folyamatosan bővül, csakúgy, mint a fejlesztett módszerek tárháza. Kiemelendő a saját fejlesztésű egyedi kapilláris szonda módszer, amellyel a hagyományos kontaktszög mérésnél pontosabban, megbízhatóbban, és szélesebb szög tartományban lehet a felület hidrofób vagy hidrofil jellegét vizsgálni. Jelentős eredményeket érnek el a 40 éves múltra visszatekintő ellipszometria kutatásokban is, ahol a nemzetközi kutatói közösség megbecsült tagjai (a laboratórium vezetője első nyertese az ellipszometriában legrangosabb, 2007-ben alapított Drude díjnak). Módszereik nagy részét az elmúlt években jelentős új innovatív megoldásokkal bővítették: pl. kombinatorikus anyagtudomány, *in situ* közép-infra ellipszometria, *in situ* bioellipszometria, új mágneses és Makyoh topográfiai módszerek, mikrofluidika egyrészecské-spektrometriához, fotolumineszcencia továbbfejlesztése.

### ***Nanobioszenzorika Kutatócsoport***

A Nanobioszenzorika Kutatócsoportban a jelölésmentes optikai bioszenzorok fejlesztésére és alkalmazására fókuszálnak, illetve ezen műszereket kombinálják egyedi sejt manipulációs

technikákkal. A kutatási témáik széleskörűek; a sejtadhéziós kinetikától, migrációtól, szignalizációtól egészen a mért biológiai jelek matematikai modellezéséig terjednek.

Középtávú stratégiájuk: Fő célkitűzésük egy rendkívül érzékeny és megbízható, jelölésmentes optikai módszer(ek) kifejlesztése, amellyel képessé válnak egyetlen sejtet monitorozni egy heterogén sejtpopulációból. Ehhez a kifejlesztett optikai érzékelőket egysejt-manipulációs technikákkal (mikropipetta, FluidFM) kombinálják a vizsgált egyedi sejtek felvétele és elhelyezése céljából. További céljuk a jól kontrollált kémiai, mechanikai és geometriai tulajdonságokkal rendelkező funkcionális felületek előállítása. Különböző vegyületeket (rákellenes szerek, exoszómák, egyéb sejtek) adagolnak a sejtekhez és a szövetekhez, és reakciójukat monitorozzák. A mért jelek és változások kinetikájának értelmezésére optikai és biofizikai elméleti modelleket fejlesztenek.

### ***Komplex Rendszerek Laboratórium***

A kis létszámú Komplex Rendszerek Laboratórium hagyományos kutatási területe az egyensúlyi és nem-egyensúlyi rendszerek statisztikus fizikai elemzése, ami az utóbbi években kezd kibővülni a tanulóalgoritmusok alkalmazásával és fejlesztésével.

Középtávú stratégiájuk: A biológiai és társadalmi rendszerekben az együttműködés fenntartását támogató jelenségek és mechanizmusok szisztematikus feltárása beleértve a járványok terjedésére hasonlító evolúciós folyamatok és a négyféle elemi játékstratégia közötti hatások összjátékának elemzését. A statisztikus fizika fogalmainak és eszköztárának alkalmazásával vizsgálják a heterogenitások hatását kritikus állapothoz közeli dinamikus modellekben, melyek pl. villamos vagy ideghálózatok is lehetnek. Ilyen rendszerek stabilitására és skálamentes viselkedésére keresnek magyarázatot a valós mérésekkel összhangban. Különböző öntanulási algoritmusok kifejlesztésével vizsgálják a népdalok és a genetika adataiban rejtett jellemzők közötti kapcsolatokat és történelmi összefüggéseket.

## **3. Atomenergia-kutató Intézet**

*Intézetigazgató: Dr. Horváth Ákos*

A Nemzeti Energiastratégia kitekintése alapján az atomenergia felhasználásának részaránya nem fog csökkenni a következő évtizedekben. Mindez azt is jelenti, hogy a hazai nukleáris biztonsági kultúrát megalapozó kompetencia fenntartása hosszú távú célkitűzés. A nukleáris kompetencia legfőbb letéteményese a független kutatóintézet, amely mind az üzemeltető, mind az engedélyező számára el tudja látni a műszaki tudományos háttérintézmény szerepét. Az Intézet küldetésének fontos része az egyetemekkel, doktori iskolákkal való együttműködés, a kompetencia fenntartása érdekében.

A nukleáris energetikai kutatások stratégiai programjának fő fejezetei az alábbiak:

1. Az atomenergia tudományos kérdéseiben meglévő kompetencia fenntartása és bővítése a paksi atomerőmű blokkjainak hosszú távú működtetése érdekében, és az új paksi blokkok létrehozásában való intenzív szakmai közreműködés,

2. Részvétel a jövő technológiáinak fejlesztésében, hozzájárulni a magfúzióra alapozott energiatermelés és a negyedik generációs atomerőművek fejlesztéséhez, a nukleáris üzemanyagciklus zárásának megoldásához.
3. A kompetencia erősítése az atomenergia alkalmazásával kapcsolatos sugárvédelmi valamint a nukleáris védetség (security) kérdésekben,

A nukleáris biztonsággal kapcsolatos kutatás-fejlesztési feladatok az atomerőművek különböző generációi körül csoportosíthatók: a meglévő paksi blokkok a 2. generációhoz, az új blokkok a 3. generációhoz tartoznak, míg távlatilag meg fog valósulni a 4. generáció is. A kutatás-fejlesztési feladatok egy része a kiégett fűtőelemek és radioaktív hulladékok sorsára vonatkozik. Ezek a feladatok részben kapcsolódnak a meglévő és az új paksi blokkokhoz és a tárolókhoz, hosszabb távon azonban a 4. generációs reaktorok radikálisan új lehetőséget kínálnak: a fűtőelem-ciklus zárását, vagyis a kiégett fűtőelemekben rejlő hasadási potenciál szinte teljes kihasználását újrahasznosítás révén, és így a keletkező radioaktív hulladék döntő mértékű csökkentését.

Az intézet nemzetközi kapcsolatai közül kiemelendő a Nemzetközi Atomenergia Ügynökséggel kialakított viszony a nukleáris biztonság és védetség kutatások területén. Az elmúlt évtizedek kiemelkedő eseményeként az EK együttműködési megállapodást kötött a NAÜ-vel 2016-ban a nukleáris törvényszéki analitika területén.

Az atomreaktorok biztonságával foglalkozó kutatások területén együttműködünk az OECD Nukleáris Energia Ügynökséggel (NEA) és az EURATOM-mal. Az EK munkatársai a kutatási együttműködések túl számos szakértői szervezetben vesznek részt egyebek mellett a fúziós energetikai, súlyos baleset, sugárvédelem és szerkezetintegritás területén. Az EK szervezi 1990 óta a VVER reaktorokat üzemeltető országok tudományos együttműködését (AER), amely számos innovatív ötlet kidolgozását segítette. Az AER együttműködés harminc éve működik külső finanszírozás nélkül.

Az EK alapító tagja a V4 országok nukleáris együttműködését szervező V4G4 Kiválósági Központnak, amely egy innovatív, magas hőmérsékleten működő gázhűtésű reaktor demonstrátorának építését tűzte ki célul. A célok elérését az EURATOM is támogatta/támogatja több egymást követő kutatási program finanszírozásával.

Az Atomenergia-kutató Intézet Stratégiai Kutatási Tervének annotált fejezetei az alábbiak:

1. Többskálás, integrált reaktorfizikai és termohidraulikai modellek és szimulációs eszközök fejlesztése

A nukleáris berendezésekben lejátszódó fizikai, kémiai folyamatok pontosabb modellezésére van lehetőség az egyes diszciplínákat összekapcsoló integrált fejlesztésekkel (*multi-physics*) amelyek egyúttal csökkentik a korábbi számítások szükségtelen konzervativizmusát. Többskálás modellezésre lesz szükség a determinisztikus biztonsági számításoknál, amelyek összekapcsolják a reaktorfizikai, fűtőelem-viselkedési és termohidraulikai elemzéseket.

2. Reaktorszerkezeti anyagok kutatása

A reaktorok biztonságos üzeme a szerkezeti anyagok integritásától is nagyban függ. A beépített anyagok neutronsugárzásnak, magas hőmérsékletnek, nagy mechanikai igénybevételnek és erózió hatásának vannak kitéve. A kutatások a szerkezeti anyagok öregedésére koncentrálnak, különös tekintettel a neutronsugárzás és extrém körülmények – reaktor baleseti kondíciók – hatására.

3. Negyedik generációs reaktorok, magfúzióra alapozott energiatermelés, a fűtőelemciklus modernizálása és radioaktív hulladékok kezelése

A nukleáris energiatermelés másik, gyökeresen eltérő módja a szabályozott magfúzió alkalmazása lesz, amely a Napban zajló folyamatokhoz hasonlóan hidrogén izotópok atommagjainak egyesítésével termel energiát. A kutatásokhoz nagy megbízhatóságú, hibatűrő, egyedi eszközöket kell fejleszteni, ami csak a területen dolgozó mérnökök és fizikusok szoros együttműködésével és a fissionális erőműveknél megszokott eljárásokkal valósítható meg.

A nukleáris energetika fenntarthatósága attól is függ, hogy a friss üzemanyag pótlása és a kiégett üzemanyag kezelése hosszú távon megoldható-e. A két kérdés megoldását, azaz a fűtőelemciklus zárását, megkönnyíti a negyedik generációs gyorsreaktorok alkalmazása.

4. Atomerőművek biztonságos üzemeltetéséhez kapcsolódó kutatások

Az üzemelő paksi blokkok meghosszabbított üzemideje alatt is szükség lesz az erőmű tudományos támogatására. Ezen túlmenően fel kell készülni az új technológiájú blokkok engedélyezésének támogatására is. A hatékony öregedéskezelés és a kompetencia fenntartása érdekében megfogalmazott feladatok tartoznak a fejezet alá.

5. Sugárvédelem, a sugárzás biológiai hatásainak kutatása, nukleáris kémia

A sugárvédelem, aktivitás terjedési számítások és a kis dózisos biológiai hatásának kutatása tartozik a fejezet alá. Az űrdozimetriai tevékenységek az aktív és passzív doziméterek fejlesztésére és az űridőjárás megfigyelésére irányulnak az űreszközök hatékony védelme érdekében.

6. Az atomenergia békés célú felhasználásával összefüggő nukleáris védettségi kutatások

A nukleáris anyagok analíziséhez szükséges kísérleti háttér fejlesztése, valamint szakképzett kezelő személyzet, korszerű berendezésekkel felszerelt nukleáris törvényszéki laboratórium üzemeltetése. A tevékenység egyik fontos alkalmazása a korszerű képzési programok és kapcsolódó technikai háttér biztosítása (sugárzás detektáló rendszerek vizsgálatára alkalmas tesztlaboratórium, tapasztalt szakember gárda).

#### **4. Együttműködések hazai intézetekkel, szervezetekkel**

##### ***Energetika, környezet és roncsolásmentes analitika***

A BNC együttműködik az E-RISH PP projektben az Atomki kutatóival, melynek célja egy archeometriai ERIC létrehozása. 2018-ban új együttműködési megállapodást született az Ökológiai Kutatóközpont a gyógyszermaradványokat érintő sugárkémiai kutatásokkal

kapcsolatban. A Pannon Egyetemmel kapcsolatot építenek ki bioüzemanyag reaktorrendszer fejlesztésére. A TTK AKI-vel a megújuló energiák területén nagyrészt komplementer kutatásokat folytatunk. A tüzelőanyag-cellák elektrokatalizátorait az AKI-ban fejlesztik, itt pedig lehetőség van a katalizátorokat tartalmazó elektródák (membrán elektród együttesek - MEA) diagnosztikájára. Ez utóbbi két kapcsolat egy lépéssel közelebb visz bennünket a Nemzeti Infrastruktúra Útitervben az Energia Kutatási Infrastruktúrák közötti kapcsolat felépítéséhez.

Együttműködünk a Pécsi Tudományegyetemmel a Biomedical Engineering altémában, amely szintén a Kutatóreaktor kapacitásaihoz kapcsolódik.

### ***Fizikai anyagtudomány***

Párhuzamosságok nincsenek, egymást kiegészítő tevékenységek más ELKH intézetekkel illetve egyetemekkel igen. Ilyen pl. a Nemzeti Kvantumtechnológiai Program (HunQuTech) program, amelynek preparatív háttérét jelentős részben az MFA biztosítja.

Az MFA félvezető technológiai berendezéseit a tisztalaborban a BME Fizikai Intézete oktatási és kutatási célra igénybe veszi.

Vezető munkatársaik zöme oktat az ELTE, BME, ÓE, PPKE, SE, PE, DE, ME, SZTE, PTE különböző kurzusain elsősorban a PhD képzésben, doktoraik tagjai a fenti egyetemek doktori iskoláinak, doktori és habilitációs tanácsának, többen a doktori iskolák alapító, ill. törzstagjai. Munkatársaink az intézet preparatív és analitikai laborjaiban rendszeresen tartanak gyakorlatokat az egyetemek graduális és posztgraduális képzései számára (minden külső anyagi ellenszolgáltatás nélkül).

A Nanobioszenzorika egyik témájában (az öt közül) a Pannon Egyetemmel működnek együtt, melyben a PE adja a flagellin fehérjéket és az MFA-ban készülnek ebből antibakteriális rétegek.

### ***Nukleáris biztonság és védettség***

Az EK alapító tagja a Fenntartható Atomenergia Technológiai Platformnak, valamint a Magyar Magfúziós Technológia Platformnak, amelyek egyeztetik a hazai nukleáris kutatási irányokat a releváns kutatási, ipari és kormányzati szereplőkkel. A Platform keretein belül és más, EURATOM szervezésű pályázatok keretében is régi partnerünk a Bay Zoltán Alk. Kut. Intézet Szerkezetintegritási Osztálya. Egymást kiegészítő együttműködés van az Atomki-vel és a BME NTI-vel. Közös hazai és nemzetközi projekteken együttműködünk a NUBIKI, a TÜV Rheinland Kft, az ELTE, a Debreceni és a Pannon Egyetem szakembereivel, amely leginkább a szakmai kompetenciák és a kutatási infrastruktúrák racionális megosztásán alapul.

A nukleáris védettségi kutatásokban együttműködünk a Készenléti Rendőrséggel és a Terrorelhárítási Központtal. Több munkatárs oktat hazai egyetemeken (pl. BME, ÓE) és vesz részt a doktori iskolák tanácsaiban.