

Kutasi Csaba

# A röntgensugárzás káros hatásaitól védő öltözékek, árnyékolók

**A** röntgensugárzást – a tudományos és ipari vizsgálatok mellett – főként az orvoslás során használják a diagnosztikában, az eszközpozicionálásban, valamint a terápiákban. A röntgensugárzás káros biológiai hatásai is köztudottak, ezért lényeges a megfelelő védelem biztosítása mind az egészségügyi személyzet, mind a betegek számára. Ennek érdekében többféle védőöltözék és kiegészítő vagy árnyékolóeszköz áll rendelkezésre. A védőruházatok funkcionális rétege lehet hagyományos ólomárnyékoló, valamint könnyített kivitelben kompozit vagy ólommentesen más nehézfémekkel kialakítva. A sugárvédelmi képességet az anyagvizsgálatok mellett manikenteszttel is kontrollálhatják, amellyel az emberi test valamennyi szervére gyakorolt hatás nyomon követhető.\*

## Sugárzásvédő anyagok

A sugárhasználat kockázatokkal jár, a külső sugárterhelés mérésének egyik meghatározó eszköze az *árnyékolás*. A sugárvédő ruházatot általában az egészségügyi dolgozók és a betegek közvetlen és másodlagos sugárzás elleni védelmére alkalmazzák a diagnosztikai képalkotás során. Hosszú ideig kizárólag az *ólom* sugárgyengítő képessége volt a sugárvédelem alapja. A sugárzásvédő anyagokkal kapcsolatos kutatások és a technológiák fejlődése további két alternatív megoldást tett lehetővé, ezekben ólomkompozitot vagy ólommentes sugárzásárnyékolást alkalmaznak.

Az ólomot és egyéb sugárvédelmet biztosító anyagot tartalmazó, *lapszerű réteggel* készített védőeszközök, például köpenyek, körkörös kabátok, szoknyák, kötények, mellények, fejdők, kesztyűk viselése a röntgenasszisztensek, radiológus orvosok és a sugárhatásnak kitett betegek számára lényeges. A *betegeket* érő zavaró röntgensugárzás elleni védekezésre szolgálnak például az ivarmirigyeket, pajzsmirigyét védő árnyékolók, utóbbiak a fogászati sugárterhelés beavatkozásoknál is fontosak. A szem védelmére hajlított *akril ólomüvegből* készült óvó álarc vagy könnyű szemüveg, körbefutó műanyag keret sugárcsökkentő lencsékkel áll rendelkezésre, 0,75 mm-es ólom-egyenértékűséggel.

A röntgenhelyiségek és -kabinok falait *ólomlemezekkel* burkolják, ezzel megakadályozható a röntgensugarak kijutása, minimálisra csökkentve a környező területek sugárterhelését. Hasonlóan elterjedtek a speciális védőképességű határoló függönyök/lamellák, paravánok, amelyek általában ólomréteggel kombinált összetett szerkezetek.

\* Az írás egyes részletei megjelentek az Élet és Tudomány 2025/16. számában.

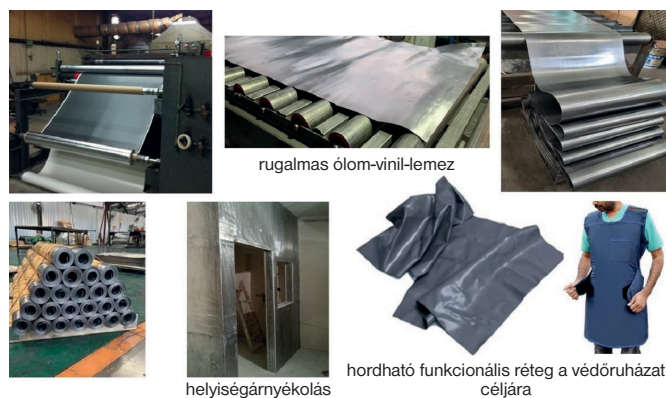
## A sugárvédő öltözékek és kiegészítők anyagai

A röntgensugárzástól védő ruházatok belső funkcionális rétege lehet hagyományos ólomárnyékoló, könnyített kivitelben *kompozit* vagy *ólommentes* változat egyéb *nehézfémekkel*.

A külső borítóanyagok készülhetnek könnyű felvétel és sima rögzítést biztosító szintetikus kelmékből. Az 5 mm-es távolságban ezüst- vagy ezüstözött filamentekkel beszótt textilanyag antibakteriális képességgel is rendelkezik.

### Hagyományos ólomárnyékolás

Az ólom puha, alakítható és korrózióálló anyag. *Nagy sűrűsége* (11,34 g/cm<sup>3</sup>) hasznos védőpajzsot jelent többek között a röntgensugárzás ellen. Közvetlenül azonban nem alkalmas nagy felületű viselhető termék céljára. Annak érdekében, hogy hordható sugárzásvédő anyaggá váljon, kötő- és adalékanyagokkal összekeverve rugalmas *ólom-vinil-lemezt* állítanak elő. Az így kialakított lapszerű anyagot a kívánt vastagságúra rétegezik, és így építik be a sugárzásvédő ruhadarabba. Az ólomequivalencia-védelemnek megfelelően általában három szabványos változata van; a röntgensugárzás elleni védőruházathoz 0,25 mm-es, 0,35 mm-es és 0,5 mm-es vastagságban alkalmazzák.



### Rugalmas ólom-vinil-lemez előállítás, felhasználása

#### Ólomkompozit-árnyékolás

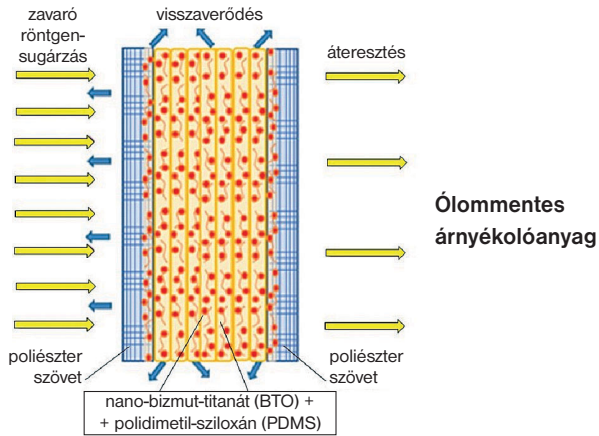
A kompozit árnyékolóanyag ólom és más könnyebb (alacsonyabb atomtömegű) *nehézfémek* keveréke. Természetesen az ólomalapú kompozit anyagoknál is követelmény az optimális sugárgyengítő képesség. Elterjedt az *ólom, ón, gumi, PVC-vinil* és más csillapító fémek, keverékek alkalmazása. A sugárzásvédő kompozitokban a *mátrixanyagként* alkalmas polimerek közé tartozik például az ultranagy molekulatömegű polietilén, az epoxigyanta, a szilíciumgumi és a polilaktid. Az ilyen sugárzásvédő ruhadarabok akár 25%-kal könnyebbek, mint a hagyományos ólomalapú



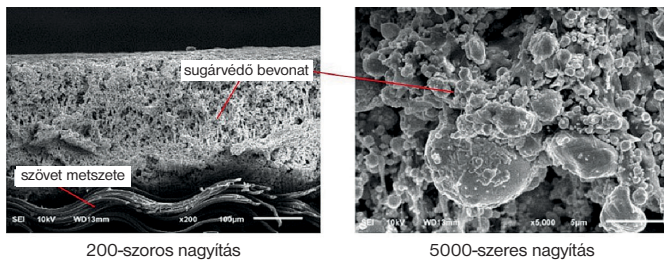
védőeszközök, ugyanakkor azonos ólom-egyenértékű védelmi szinttel állnak rendelkezésre.

### Ólommentes árnyékolás

Az ólom alapú kompozit árnyékolóanyagok keverékeihez hasonlóan az ólommentes árnyékolóanyagok is megfelelő védelmi szintet biztosítanak. Az ólommentes védőanyagokat olyan adalékokkal és kötőanyagokkal gyártják, amelyek *sugárzásblokkoló, -elnyelő nehézfémekkel* elegyednek. Ilyen fém lehet például az ón, az antimon, a volfrám, a bizmut, a tantal. A biztonságos ólommentes védőöltözékek újrhasználhatóak.



Röntgensugárzás ellen védő eszközök készülhetnek megfelelő árnyékolóképességű réteggel *bevont szövetből* is.



### Pásztázó elektronmikroszkóppal készült felvételek fémtartalmú bevonatos szövetről

A *tépőzár*as kivitelű öltözékeknél a megfelelően elhelyezett hevederek tökéletesen egyensúlyban tartják a nehéz ruházatot. A speciális víz- és szennyeződésálló *tépőzár-szalag*felek poliamidból, teflonból és több réteg ólom-vinilből készülnek.



### Tépőzár alkalmazása a védőruházaton

## Az ólom alapú védőruházatok viselését könnyítő műszaki megoldások

A hagyományos ólom védőruházatra jellemző a kb. *15 kg-os súly*, ami a viselőjének jelentős terhelő igénybevételt okoz.

Az ilyen anyagú védőöltözékek hordása *fokozott testi igénybevétellel* jár, különös tekintettel a röntgensugárzást igénylő különböző, gyakran többrészes műtéti beavatkozások során.

Az elterjedt technikák közül a *függesztett* sugárvédelmi eszközöket, illetve a védőruházat súlyát mentesítő *speciális külső vázas* rendszert említjük. Mindkettő olyan, hogy a mozgásszabadságot maximálisan biztosítja az orvosok, műtéti asszisztensek számára.



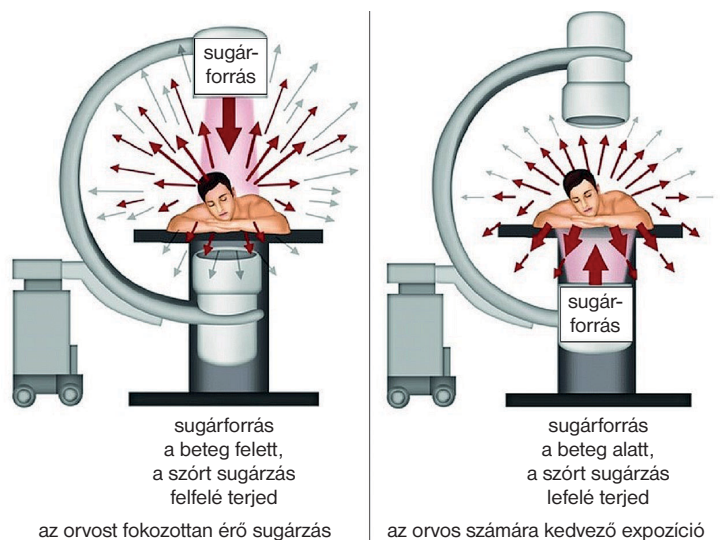
„Zero-Gravity”  
felfüggesztett sugárvédelmi rendszer

Külső, vázon alapuló,  
mozgásszabadságot biztosító,  
védőruházat súlyát viselő rendszer

### A védőöltözék súlyától mentesítő megoldások

### Egyéb sugárzást csökkentő lehetőségek

További lehetőségek is kínálkoznak a sugárzás elleni védelemre. Lényeges tényezőként kerül előtérbe a *sugárforrás pozícionálása*, amivel a betegtől terjedő szórt sugárzás mérsékelhető.



az orvost fokozottan érő sugárzás

az orvos számára kedvező expozíció

### A sugárforrás elhelyezkedésének szerepe

A vizsgáló- és műtőasztalok körüli védelmi eszközök, a sugárforrásnál kialakított *védőpanelek* jelentősen hozzájárulnak a káros sugárzástól óvó műszaki megoldásokhoz.



## KITEKINTÉS



ólomszoknya



mobil sugárvédő pajzs



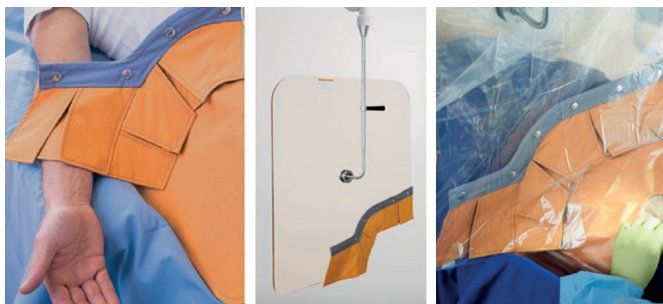
lamellás sugárvédő



C karra szerelt, szórt sugárzás ellen védő panelek

### Különböző sugárvédő eszközök

Az ólom-akril lemez átlátszó, ólomtartalmú műanyag lap. Előállításakor az ólomot kopolimerizációval viszik be a szintetikus anyagba. A szórt sugárzás elleni védelmet például ilyen típusú lappal oldják meg; alul *átlapoló panelfüggöny* és *védőkendők* csatlakoznak hozzá. A páciens testének körvonalát jól követi az eszköz, és kizárja az olyan réseket, ahol a szórt sugárzás eljuthatna a vizsgálóhoz.



Ólom-akril röntgensugárvédő pajzs (középen) átlapoló panelfüggönnyel és kendőkkel

### Sugárvédelem-kontroll manikenteszttel

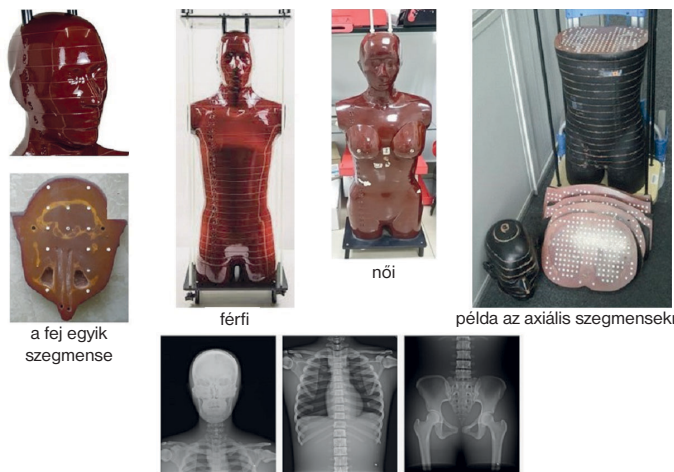
Samuel W. Alderson (1914–2005) nagy tekintélyű fizikusként és mérnökként számontartott amerikai feltaláló megbízható antropomorf tesztbábuk megalkotásával forradalmasította az űrkutatást, az autóipart és az orvosiipart.

Az Alderson-féle *sugárterápiás* (ART) fantom (maniken) a *Rando tesztbábu* kifinomult és továbbfejlesztett változata. A férfi ART egy 175 cm magas és 73,5 kg-os, a női pedig egy 155 cm magas és 50 kg-os személy felsőtestét modellezi. Ezeket vízszintesen 2,5 cm vastag szeletekre – 35 db *axiális szegmensre* – vágják, minden ilyen egységben vannak furatok, amelyeket csont-, légyszövet- és tüdőszövet-ekvivalens csapokkal tömnek be. A légyszövetekkel egyenértékű bevonatok üvegsimaságú szeleteket alakítanak ki, amelyeket a garat, a légcső és a törzshörgők légtereire felett metszenek le. Az ún. dozimetriai lyukakat 3 × 3 cm vagy 1,5 × 1,5 cm méretű rácsokba fúrják 5 és 7 mm átmérővel: ez teszi lehetővé a dóziseloszlások részletes mérését.

A *légyszöveteket* imitáló anyagot szigorúan ellenőrzik, hogy átlagos sűrűsége legyen. A csontok speciális polimer öntvények, amelyek reprodukálják a kortikális és a szivacsos csontállomány tömegsűrűségét és csillapítási együtthatóit. A tüdőt speciális – 0,3 g/cm<sup>3</sup> sűrűségű – habból formázzák.

A kész fantomokban a *dozimetriai lyukak* „sima” tűkkel van-

nak kitöltve szállításkor, és méréskor doziméterrel ellátott, 2,5 cm-es tűkkel váltják fel őket. A termolumineszcens dozimetriai (TLD) chipkekhez készült tűk egyik végén 3,2 × 3,2 × 0,9 mm méretű mélyedések vannak, a TLD rudakhoz készült tűk középrészén 1 mm átmérőjű keresztirányú lyukak találhatóak. Különböző típusú OSLD-k (optikailag stimulált lumineszcens doziméterek) elhelyezésére alkalmas tűk is rendelhetők. A dózismérőkkel felszerelt rendszer alkalmas a 3D-s adatgyűjtésre.



Alderson-Rando antropomorf fantom felépítése

### A védőruházatok időszakos minőségvizsgálata

A tesztelés magában foglalja a ruhadarabok sugárzás elleni *védelmi képességének* felmérését. Több vizsgálati módszert alkalmaznak

A *vizuális ellenőrzéssel* vizsgálják, hogy nincs-e sérülés (pl. szakadás, lyuk) vagy elszíneződés, ami veszélyeztetheti a védelem hatékonyságát.

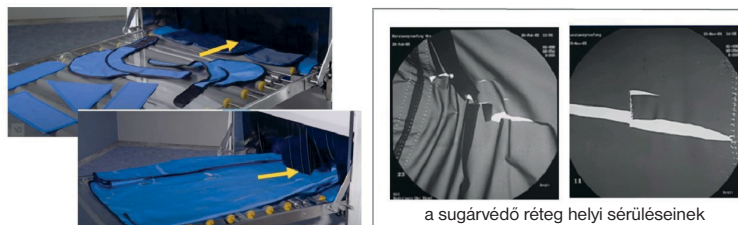
A *tapintásos vizsgálat* során kézzel ellenőrzik, hogy nincsenek-e különböző folytonossági hiányok, és megjelölik a gyanús területeket.

Fluoroszkópos/röntgenvizsgáló egység alkalmazásával a *röntgensugárzás „szimulálása”* alkalmával felmérik, hogy a védőruha mennyire blokkolja a sugárzást, ilyenkor láthatóvá válnak a minőségrontó körülmények.

*Dozimetriás módszerrel* a védőfelszerelést viselő próbababun vagy önkéntesen meghatározzák a sugárzás behatolási szintjét.



védőruházatok és védőeszközök időszakos röntgenvizsgálatára alkalmas vizsgálókészülékek



a sugárvédő réteg helyi sérüléseinek kimutatása

### Tesztelés a védőruha röntgensugárzás ellen védő képességének ellenőrzésére



### A sugárvédő ruházatok tisztítása

A tisztítással a szennyeződések, mikroorganizmusokat és testvéladékokat kell kézi módszerrel eltávolítani. A friss foltokat hidegen enyhe finommosószeres vagy szappanos vízzel, puha textíliával szüntetik meg. Fehérjéket (pl. vér) hideg vizes kezeléssel lehet hatékonyan letörölni. A termék károsodásának elkerülésére oldó- és sűrűsítőszereket, egyéb agresszív anyagokat nem szabad használni.

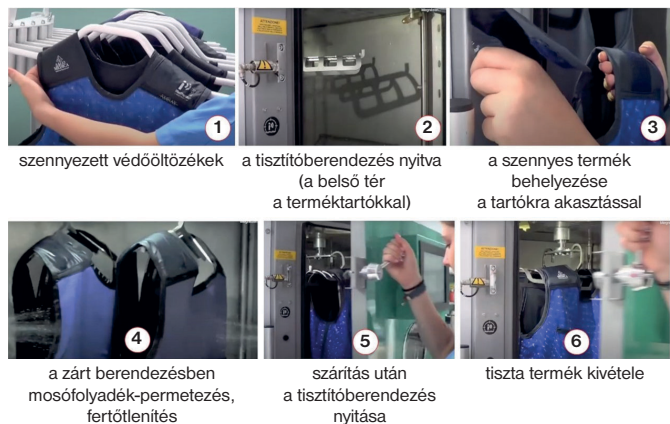
Amennyiben a röntgenvédő ruházat felületéről a szennyező biofilmet teljesen eltávolították, sor kerül a fertőtlenítésre, amelyvel hatékonyan eltávolíthatók a megmaradt mikroorganizmusok. Kerülni kell a túl nagy nyomást a fertőtlenítő törőlkendő használatakor. Mellőzni kell az alkoholalapú fertőtlenítőszereket, a tiszta alkoholt (pl. etil és izopropil), az oxidatív (pl. aktív klórt tartalmazó) szereket.

A CLEANiRad rendszer gépi mosási, fertőtlenítési és szárítási technológiát tesz lehetővé a röntgenvédő ruházatok és tartozékok tisztító kezelésére.



#### IRODALOM

[https://semmlweis.hu/kepalkotas/files/Tab-G\\_Sugarvedelem-HUN.pdf](https://semmlweis.hu/kepalkotas/files/Tab-G_Sugarvedelem-HUN.pdf)  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1120179721000855>

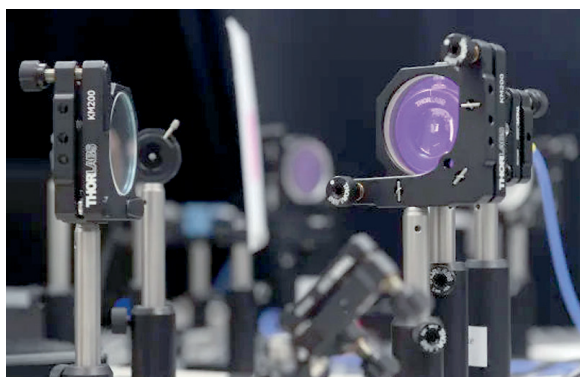


### Gépi technológia a sugárvédő ruházatok tisztítására

<https://barriertechnologies.com/>  
<https://www.proquest.com/docview/2576398439?sourcetype=Scholarly%20Journals>  
<https://www.wolverson.uk.com/radiation-protective-clothing/>  
<https://rsdphantoms.com/product/the-alderson-radiation-therapy-phantom/>  
<https://simad-xray.com/en/prodotto/cleanirad-cleaning-and-disinfecting-device-for-x-ray-protective-clothing/>

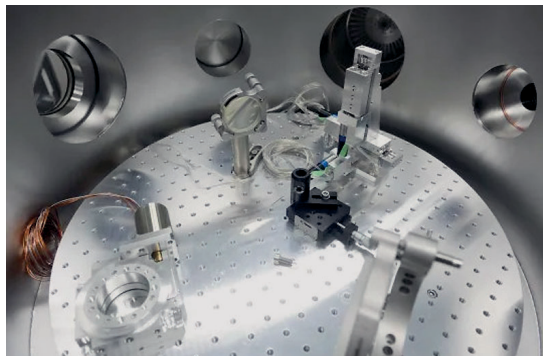
## Jelentős előrelépés a lézeres magfúziós kutatásokban

A Nanoplazmonikus Lézeres Fúzió Kutatólaboratórium (NAP-LIFE) kutatói 2020 óta vizsgálják a lézerrel indukált magfúzió megvalósíthatóságát nanoméretű rendszerekben.



A több mint öt éven át tartó, Kroó Norbert, Csernai László Pál és Papp István ötletén és szabadalmán alapuló kutatás eredményei kimutatták, hogy megfelelő körülmények között a fúziós reakciók nanoméretben is beindíthatók. A projektet a HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont irányította, együttműködve a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, a Szegedi Tudományegyetem, a Debreceni Egyetem, a HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont és a szegedi ELI-ALPS, valamint külföldi egyetemek kutatóival is. A projekt eredményei bebizonyították, hogy a nanoplazmonikus lézeres fúzió (röviden nanofúzió) közép- és hosszú távon hozzájárulhat az energiaellátás biztonságának növeléséhez.

A fúziós energiatermelés elméletileg nagy energiasűrűséget biztosít viszonylag kis mennyiségű üzemanyag felhasználásával. A jelenlegi modellek szerint az energiahozam jelentősen meghaladhatja a fosszilis vagy hasadáson alapuló rendszereket. A potenciális üzemanyagok közé tartozik a hidrogén, a deutérium, valamint egyes könnyű elemek, például a bór. A fúziós reakciók egyik előnye, hogy megfelelően megválasztott reakcióutak esetén nem keletkeznek hosszú felezési idejű radioaktív mellékter-



mékek, ezért ez a technológia a jelenleg ismert leginkább környezetkímélő eljárások közé tartozik.

A NAPLIFE projekt során végzett kutatások a nanoplazmonikus lézeres fúzió működési mechanizmusának vizsgálatára irányultak. A kísérletekben millijoule-os energiájú impulzuslézerekhez hangolt arany nanorészecskéket alkalmaztak, amelyek a lokális elektromágneses tér erősítésén keresztül hozzájárulhatnak a fúziós reakciók feltételeinek kialakításához. A jelenséget protonbór reakciók végtermékeinek detektálásával támasztották alá.

Az eddigi eredmények arra utalnak, hogy a nanoplazmonikus megközelítés hosszabb távon alternatív irányt jelenthet a fúziós energiakutatásban, ugyanakkor a technológia energetikai alkalmazása további jelentős fejlesztéseket igényel. A fúziós energiatermelés különböző megközelítései – beleértve a nagy léptékű plazmafizikai rendszereket is – jelenleg még kísérleti fázisban vannak.

A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával, a Nemzeti Laboratórium Program keretében valósult meg 2022. október 1. és 2026. március 31. között. A projekt demonstrációs szakasza ezennel lezárult. A kutatás folytatását 2026. április 1-jétől a HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont végzi saját forrásból, korlátozottabb kapacitások mellett. A további előrelépés a rendelkezésre álló finanszírozási és kutatási erőforrásoktól is függ. (HUN-REN Wigner)