

Tüzelőanyag cellák működés közbeni vizsgálata dinamikus neutron radiográfia alkalmazásával

Study of fuel tank in service applying the dynamic neutron radiography

BALASKÓ MÁRTON¹, HORVÁTH LÁSZLÓ¹, HORVÁTH ÁKOS¹, KRISTON ÁKOS², NEMES ÁKOS²

Kulcsszavak: tüzelőanyag cellák, neutron radiográfia, oxigén-hidrogén reakció

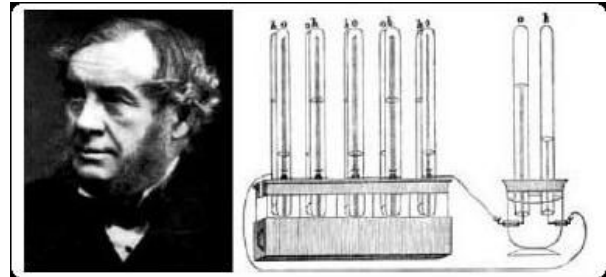
Keywords: fuel tanks, neutron radiography, oxygen-hydrogen reaction

ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban a társadalom számára alapvető gondot jelent a növekvő energia igény kielégítése. Ismeretes, hogy a Föld fosszilis tüzelőanyag tartalékai végesek és a kitermelésük egyre költségesebbé válik. Az energia tömeges, környezetbarát előállítására az atomerőművek alkalmasak, azonban ezeket csak több 100 MW-os blokkokban lehet hatékonyan üzemeltetni. A közlekedési eszközök és a 100 MW-nál kisebb, állandó teljesítmény leadására képes erőművek számára a tüzelőanyag cella lesz az alkalmas energiaforrás. A tüzelőanyag-cellában az elektrolízissel ellentétes folyamat zajlik: az oxigén és hidrogén reakciójánál víz és elektromos energia, valamint hő keletkezik. A cella hatékonyságát döntő módon befolyásolja a keletkező víz elvezetése. Nagyon fontos, hogy a tervezők tisztán láthassák a cellán belül a víz keletkezési körülményeit, és annak a problémamentes elvezetési lehetőségeit. A dinamikus neutron radiográfia (DNR) jelentős támogatást tud nyújtani ebben a munkában, mert a neutron sugárzás csekély veszteséggel hatol át a cella szerkezeti anyagain (grafit, vékony fémszerelvények és csekély vastagságú tömítő anyagok), de a megjelenő vizet már néhány tized milliméteres vastagságban is érzékeli.

1. BEVEZETÉS

Mielőtt elmerülnénk a tüzelőanyag cellák működési sajátosságainak elemzésében, szeretnénk egy rövid áttekintést nyújtani azok történetéről [1]. Sir William Grove fejlesztette ki az első tüzelőanyag cellát 1839-ben Angliában. Az ebben az időben végzett elektrolízises kísérletei vezettek ahhoz az elgondolásához, hogy ha az elektromos áram segítségével a vizet hidrogénre és oxigénre lehet bontani, akkor ennek a reakciónak a fordítottjával, azaz oxigén és hidrogén egyesítésével valószínűleg áramot is lehet termelni. Ez sikerült is neki, amint azt az 1. ábra szemlélteti. Abban a korban ezt az elrendezést „gázelem”-nek nevezték.



1. ábra. William Robert Grove és a tüzelőanyag cellája. A rajzon öt "gázelem" soros kapcsolása látható, amellyel vizet bont a különálló cellában

A fenti elrendezésnek Ludwig Mond és Charles Langer adták a „tüzelőanyag cella” nevet, amikor 1889-ben megpróbálták létrehozni az első gyakorlatban is jól használható készüléket. Ez azonban csak Francis Baconnak sikerült 1932-ben, miután a drága platina elektródákat jóval olcsóbb nikkelezett fémekkel helyettesítette és a kénsavas elektrolitot pedig az elektródákat kevésbé roncsoló káliumhidroxiddal váltotta fel. 1959-ben Bacon már bemutathatta azt a készülékét, amely 5 kW villamos energiát termelt. Ez elegendő volt egy hegesztő berendezés üzemeltetésére. Az 1950-es évek végén és az 1960-as évek elején megújult az érdeklődés a tüzelőanyag cellák iránt. A NASA, az akkoriban gyártandó, ember vezette űrrepülőgépek áramellátására keresett megoldásokat. A hagyományos akkumulátorok használatát már elvetették azok súlya miatt, a napenergia túl drága volt abban az időben, míg a nukleáris energiát túl kockázatosnak tartották. Ezért esett a választás a bacon féle cellára. Ezek az erőfeszítések vezettek az első protoncserélő membrános tüzelőanyag cellák kifejlesztéséhez. A GE és a NASA együttesen fejlesztette ki ezt a technológiát a Gemini űrprogram keretén belül. Ez volt a tüzelőanyag cella első kereskedelmi alkalmazása. Az 1970-es évek alatt a tüzelőanyag technológiát a földi rendszerekhez kezdték fejleszteni. Az 1973 és 1979 közötti olaj áremelkedés elősegítette a tüzelőanyag cellák kutatását, mivel az amerikai kormány az olaj importtól való függőség megszüntetését akarta elérni. Az 1980-as évek alatt a tüzelőanyag cella technológiája különböző alkalmazási területeken, pl. az autógyártásban lett tesztelve. Az évtized technikai áttörését az jelen-

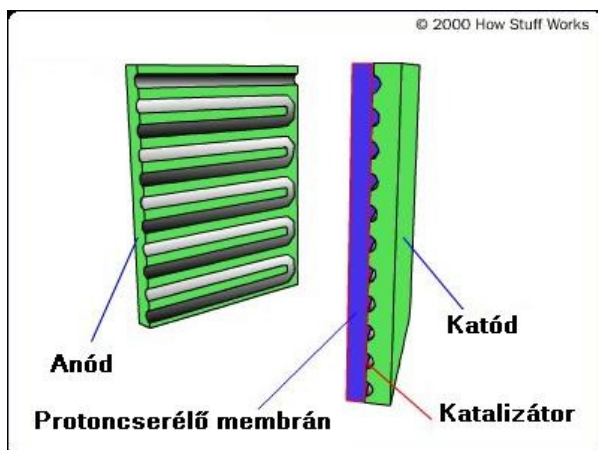
¹ MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet, 1121 Budapest Konkoly Thege-u 29-33

² ELTE TTK 2 2 Kémiai Intézet Elektrokémiai és Elektroanalitikai Laboratórium
A VII. RAKK-on (2011, Eger) elhangzott előadás nyomtatott változata

tette, mikor 1993-ban egy kanadai cég, a Ballard tüzelőanyag celláját alkalmazták egy járműben. Az első tüzelőanyag cellával ellátott buszok Chicagóban és Vancouverben lettek forgalomba állítva. Az utóbbi években kórházakban és iskolákban is telepítettek tüzelőanyag cellákat. Az Amerikai Védelmi Minisztérium 30 db tömény foszfor savas rendszer telepítését támogatta, mely rendszer minden eleme 200-200 kW villamos energiát termel, ezzel demonstrálva a technológia működőképességét valós körülmények között.

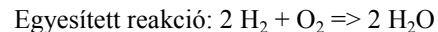
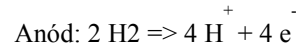
2. A TÜZELŐANYAG CELLA FELÉPÍTÉSE ÉS MŰKÖDÉSE

A tüzelőanyag cella két elektródából (anódból és katódból), katalizátorból, mely a két elektróda egymás felé néző oldalán található, valamint elektrolitból (membránból, mely lehet szilárd vagy folyékony halmazállapotú) áll. A 2. ábrán az egyik legelterjedtebb, úgynevezett protoncserélő membrános tüzelőanyag (PMEFC) cella elvi rajza látható.



2. ábra. A protoncserélő membrános tüzelőanyag cella elvi rajza

A működési elv a következő: Az anódra adott nyomáson vezetett hidrogén molekulákat a platinából készült katalizátor szétválasztja hidrogén atomokra, majd az atomok elektronjait az anódra vezetve a H⁺ ionok a membránon átjutnak a katódhoz. A hidrogén ion egy pozitív töltésű protonból áll. A membránt ezért nevezik protoncserélőnek, mivel csak a hidrogén iont, azaz a protont engedi át, míg a negatív töltésű elektront nem. Az elektronok egy külső fogyasztón tudnak csak átjutni a katódhoz, miközben hasznos munkát végeznek. A katódra vezetett oxigén molekulák a katalizátor segítségével szintén lebomlanak oxigén atomokra, melyek az anódból - valamilyen fogyasztón keresztül - átáramló elektronokkal és a membránon átjutott hidrogén ionokkal egyesülve vizet alkotnak. Ezt a folyamatot a következőképpen írhatjuk le:



A reakció során az egy cellán keletkező feszültség értéke kb. 0,7 V, a DC áramerősség pedig a másodpercenként átáramlott hidrogén és oxigéngázok mennyiségének a függvénye. Ha nagyobb feszültséget szeretnénk elérni, akkor több cellát kell sorba kapcsolnunk. Az üzemanyag celláknak több típusa létezik, melyeket az elektrolit (membrán) anyaga szerint csoportosíthatunk. A különböző elektrolitok különböző tulajdonságokkal ruházzák fel az üzemanyagcellát és a reakciók is különböző hőmérsékleten játszódnak le. Ennek megfelelően a felhasználási területük is változik az elektrolit függvényében, amelyek összehasonlításáról az Ő. táblázat nyújt áttekintést [2].

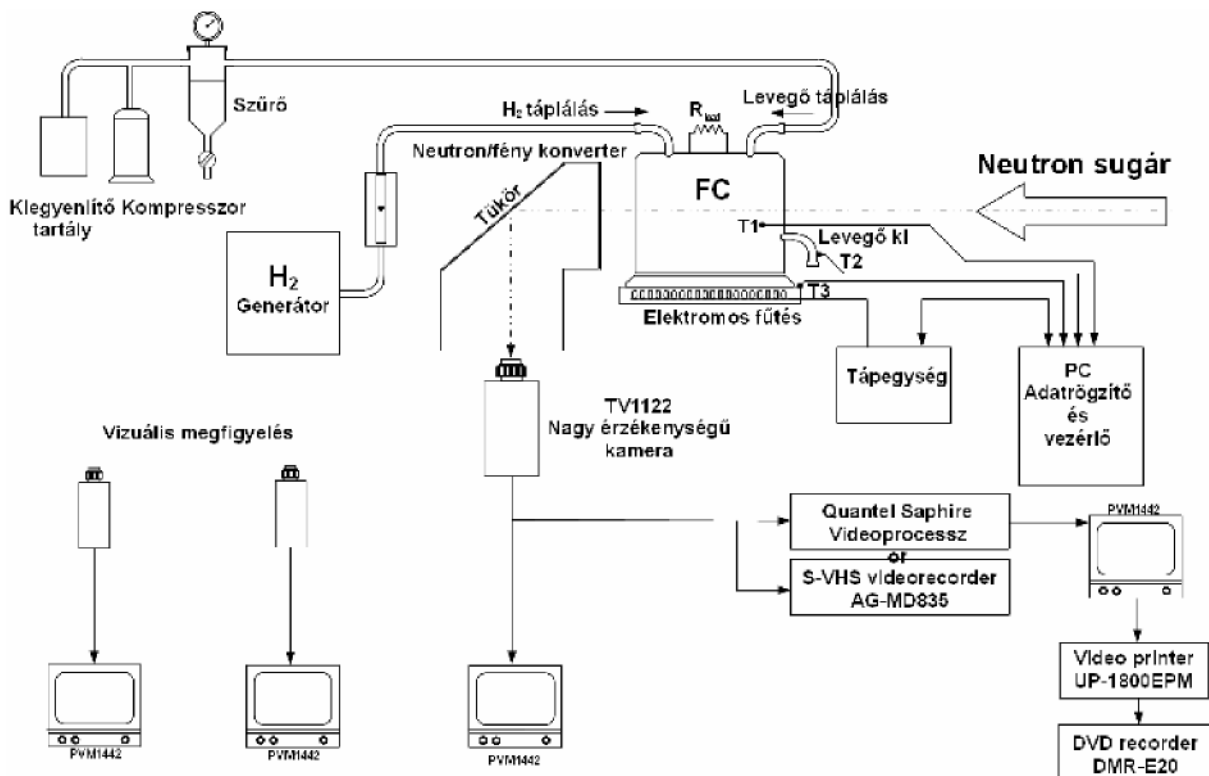
3. AZ ALKALMAZOTT MÉRÉSI TECHNIKA ÉS ESZKÖZEI

Ismeretes hogy a cella hatékonyságát döntő módon befolyásolja a keletkező víz elvezetése. Nagyon fontos, hogy a tervezők tisztán láthassák a cellán belül a víz keletkezési körülményeit, és annak problémamentes elvezetési lehetőségeit. Erre kínál vizuális megfigyelési módszert a DNR. A tüzelőanyag cella belsejében keletkező víz tulajdonságait a Budapest kutató reaktor Dinamikus Radiográfiai állomásán [3] mértük azzal a komplex mérési elrendezéssel, amelynek vázlatos képe a 3. ábrán látható. A neutron nyaláb fluxusa 10^8 neutron $\text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$, a kollimációs tényező 170, a nyaláb átmérője 155 mm. A vizsgált minta sugárzás által keltett árnyképét a neutronsugárzást fényre átalakító konverter lemez teszi láthatóvá. Az így nyert kis intenzitású fény egy tükörről reflektálódva kerül a képalkotó, távvezérelhető zoom optikával felszerelt, nagyérzékenységű tv kamerába. A 40 msec képalkotási idejű kamerának, beépített képerősítő vidikon cső a képérzékelője. A DNR kép az ellenőrző monitoron jelenik meg, és egyidejűleg S-VHS típusú video magnóval, valamint DVD készülékkel kerül rögzítésre.

A víz keletkezési folyamatának megfigyelése különleges képfelvételi technikát igényel, az úgynevezett "SHADDÓNG" módszert [4]. Ennek lényege, hogy az üres, feltöltetlen tüzelőanyag cella neutron radiográfiai képét eltároljuk a QUANTEL SAPHÖRE képfeldolgozó egység memóriájába, majd a később rögzítésre kerülő neutron radiográfiai képekből kivonjuk azt, így a cella változatlanul marad, statikus elemei elvesztik jelentőségüket a felvételek során, és ott, ahol megjelenik a víz, sötét kontrasztú, -a növekvő víz réteg vastagság növekvő sötétség tónusú képet eredményez.

Típusa	Elektrolit	Működési hőmérséklet °C	Elektromos hatásfok	Üzemanyag	Alkalmazás
AFC (alkáli)	30 % KOH oldat, gel	80	elméleti: 70% gyakorlati: 62%	- tiszta H ₂ - O ₂	Hordozható ~60 kW
PEMFC (proton-áteresztő)	protonáteresztő membrán	80	elméleti: 68% gyakorlati: 50%	- tiszta H ₂ - O ₂ - levegő	Hordozható Járművek ~80 kW
DMFC (direkt metanol)	protonáteresztő membrán	80 - 130 80-130	elméleti: 30% gyakorlati: 26%	- metanol - O ₂ - levegő	Járművek, telefonok 1 W – 70 kW
PAFC (foszforsavas)	tömény foszforsav	200	elméleti: 65% gyakorlati: 60%	- tiszta H ₂ - O ₂ - levegő	Telepített > 250 kW
MCFC (alkáli-karbonátsó)	lítium-karbonát, kálium-karbonát	650	elméleti: 65% gyakorlati: 62%	- H ₂ - földgáz - szengáz - biogáz - levegő - O ₂	Telepített > 250 kW
SOFC (oxidkerámia)	yttrium-cirkon oxidkerámia	800 - 1000	elméleti: 65% gyakorlati: 62%	- H ₂ - földgáz - szengáz - biogáz - levegő - O ₂	Telepített > 250 kW

1. táblázat. Az üzemanyag cellák összehasonlítása



3. ábra Elrendezés a tüzelőanyag cella DNR mérésére

A cella üzemeltetése szempontjából fontos paraméterek, mint amilyen a betáplált hidrogén és a levegő mennyiségének, valamint nyomásának és hőmérsékletének ismerete nélkülözhetetlenül fontos volt számunkra. Ezért ezeket és a cella villamos jellemzőit, valamint a cella hőmérsékletét mértük. A villamos jellemzőket és a hőmérsékleteket elektronikusan rögzíteni is tudtuk a saját

fejlesztésű és készítésű adatkezelő rendszerünkkel. A gázok áramlási paramétereit mérő műszerek nem rendelkeznek elektronikus kimenetekkel, ezért az általuk mért értékeket, a sugár veszélyes helyre telepített tv kamerákkal, vizuálisan figyeltük meg. A gázok áramlási paramétereit mérő műszerek és a levegő nedvesség tartalmát szabályzó edény, a 4. ábrán látható módon, kompaktul szerelve lettek elhelyezve. A cella hőmérséklet

függésének mérésére a cellát egy szabályozható, villamos fűtéssel ellátott főzölapra helyeztük.

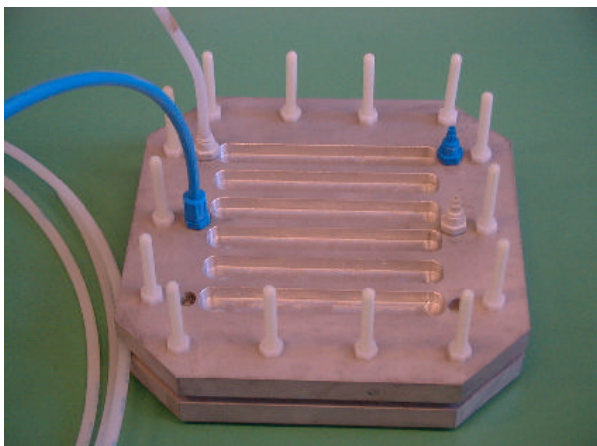


4. ábra A tüzelőanyag cellát működtető gázok mérésére szolgáló összeállítás

4. VIZSGÁLATI TÁRGY

Az összeszerelt cella fénykép felvétele az 5. ábrán látható. Az alumíniumból készült szorító lemezekben lévő kimunkált hornyok, 4 mm-re csökkentik a lemezek radiográfiai vastagságát, a legkritikusabb megfigyelési területeknél, ahol a vízképződés várható, ezzel is növelve a jelenségek észlelési lehetőségét. Az elválasztó grafit tömb és a vékony tömítések nem gyengítik számottevően a neutronos képalkotás feltételeit.

5. ábra A kísérleti tüzelőanyag cella, kikönyvitett



szorító lemezekkel

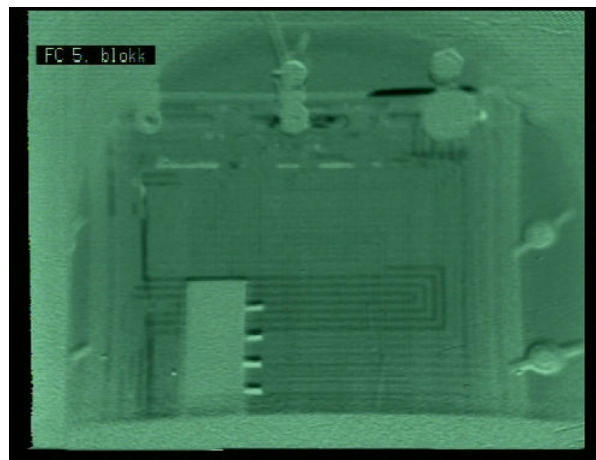
5. DINAMIKUS NEUTRON RADIÓGRÁFIAI MÉRÉSEK

A 6. ábrán az összeszerelt, de még feltöltetlen tüzelőanyag cella DNR képe látható. Az ábra függőleges tagoltsága jól mutatja, a szorító lemezek kikönyvitésének következményét. A felvétel bal alsó részében egy ék típusú víz vastagság etalon árnyképe látható. Ebben a víz vastagsága 0,5 és 25 mm között változik. Ez a kép lett eltárolva referencia felvételnként a QUANTEL

SAPPHÓRE típusú képfeldolgozó készülékünk memória egységébe, és a cella üzemelése során rögzítendő DNR képekből ez kerül kivonásra. A kép jobb alsó részében láthatók a cella hőmérsékletét érzékelő termopár vezetékai. A felső vízszintes betápláló csatornában, még az előző üzemelésből visszamaradt víz ad sötét kontrasztú képet a csatornáról. A 7. ábrán a cella SHADDÖNG képe látható az üzemeltetés kezdetén.



6. ábra Az összeszerelt, de még feltöltetlen cella DND képe

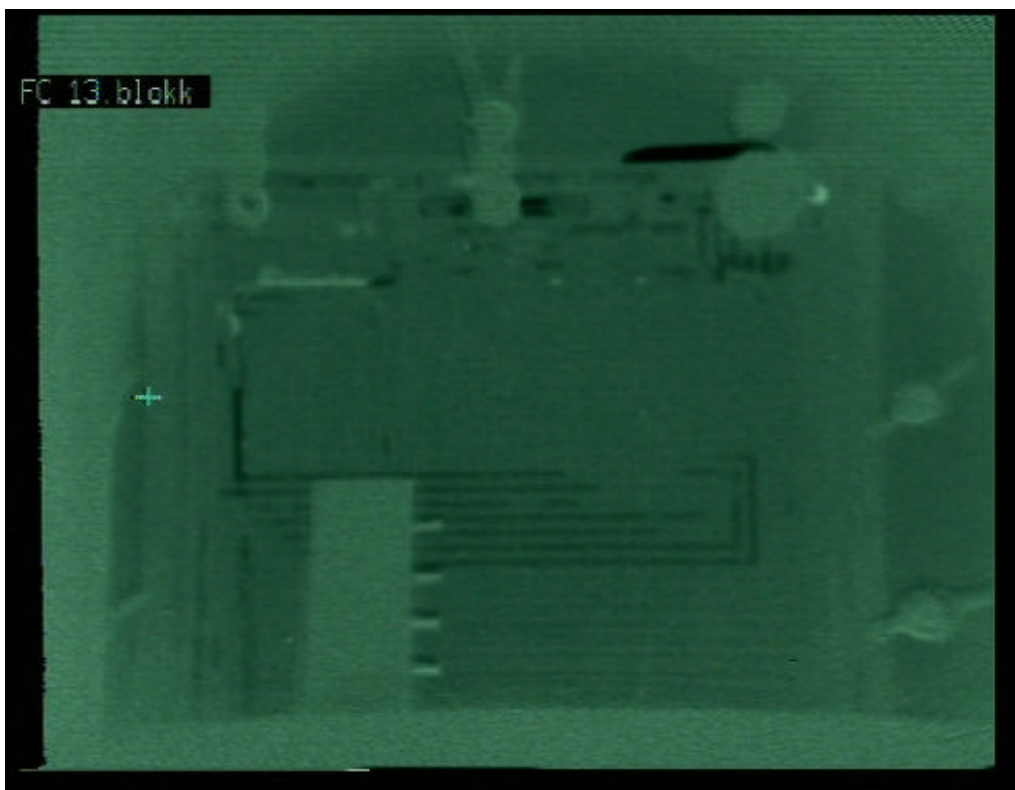


7. ábra Tüzelőanyag cella SHADDÖNG képe az üzemelés kezdetekor

A beinduló gázáramlás, az előző felvételen még sötét kontrasztot adó, visszamaradt vizet elsodorta, és a helyén áramló gáz, neutron sugárzás gyengítő hatása sokkal kisebb, ezért ezen a helyen világos tér részt érzékelünk. Az előnedvesített levegőből kiváló víz részecskék útját nyomon követhetjük a cella alsó traktusában. A cella jobb felső részén, az üzem kezdetekor kicseppentett, 6 mm vastag víz réteg, sötét kontrasztú formája figyelhető meg. A cella üzemeltetését ciklikusan megváltoztattuk, ami magával vonta a cella csatornáiban összegyűlt víz elhelyezkedésének szakaszossá válását, amint ez a 8. ábrán látható. A megismételt mérések során is sikerül kimutatnunk a részleges vizesedés jelenségét,

azonban a jelenség megszüntetésére irányuló

erőfeszítéseink nem jártak teljes sikerrel.



8. ábra Tüzelőanyag cella SHADDING képe ciklikus üzemelés eredményeként

6. KÖVETKEZTETÉS

Méréseink során bebizonyítottuk, hogy a dinamikus neutron radiográfia alkalmas eszköz a tüzelőanyag cellák víz-háztartásának a vizsgálatára

- Sikerült kimutatni a részleges vizesedést és a vizesedés lokalizációját (új jelenség)
- Elemeztük a részleges vizesedés hatását elemi cellákon és tüzelőanyag-cella rendszeren is
- További kapcsolt vizsgálatok szükségessége, komplex elektrokémiai és a dinamikus neutron radiográfiai vizsgálati berendezés fejlesztésével.

IRODALOM JEGYZÉK

- [1] fenykapu.free.energy.hu/pajert34/UCTort.html -10k
- [2] hy-go.fcell.hu/a-tuzeloanyag-cella/ -18k
- [3] M.Balaskó, E. Sváb, Dynamic neutron radiography instrumentation and applications in Central Europe, Nuclear Öonstr. and Methods in Physics Research A 377, 140-143 (1996)
- [4] M.Balaskó, E. Sváb, G. Endrôczi, Combined dynamic neutron radiography and vibration diagnostics for industrial applications, Proc. 5th World Conference on Neutron Radiography, Ed. Fischer et al, DGZfp, Berlin, 1997, pp.617-622