

KÉTKOMPONENSŰ NANOSZERKEZETEK SZIKRA ABLÁCIÓS ELŐÁLLÍTÁSA

Doktori (PhD) értekezés tézisei

VILLY LAJOS PÉTER
okleveles fizikus

Témavezető

DR. GERETOVSZKY ZSOLT
egyetemi docens
SZTE TTIK, Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

Fizika Doktori Iskola
Természettudományi és Informatikai Kar
Szegedi Tudományegyetem



Szeged
2025

1. Bevezetés

A 21. század egyik meghatározó tudományos és technológiai területe a nanotudomány, amely alapjaiban formálja át az anyagtudományt, az ipart és a mindennapi életet. A nanométeres skálán végzett kutatások és fejlesztések új távlatokat nyitnak az elektronika, az energetika, a biomedicina, a környezetvédelem és az anyagtervezés területén. Az elmúlt években a nanotudomány nem csupán kutatási területté, hanem gazdasági hajtóerővé is vált. Mára a nanotechnológia a fenntarthatóság, a hatékonyság és a precíziós gyártástechnológia kulcsszereplőjévé lépett elő.

A szikrakisüléses nanorészecske generálás előnye, hogy vákuum vagy kémiai prekursorok nélkül, kizárólag fém vagy félvezető elektródák felhasználásával képes nanorészecskéket előállítani. A kisülések során az elektródok felszínéről leváló anyag a vivőgázzal történő elkeveredését követően kondenzációs és nukleációs folyamatok eredményeként tiszta, jól szabályozható méreteloszlású és összetételű nanorészecskék keletkeznek. A módszer így lehetőséget teremt nemcsak homogén, hanem két- és többkomponensű nanoszerkezetek előállítására is, amelyek tulajdonságai finoman hangolhatók az alkalmazott elektródák anyagi összetételével és a kisülési paraméterek módosításával.

Jelen disszertáció a nanorészecskék előállításának és tulajdonságaik szabályozásának tudományos megértéséhez kíván hozzájárulni,

fókuszálva a szikrakisülésen alapuló nanorészecske-generálási módszerre, amely a környezetbarát és iparilag skálázható technológiák egyik legígéretesebb irányát képviseli.

2. Célkitűzések

A kettő- és többkomponensű nanorendszerek iránti tudományos és ipari érdeklődés egyre jobban növekszik, ahogy azt doktori dolgozatom *Tudományos és ipari érdeklődés, igények* fejezetében ki is fejtem. Jelenleg nincs univerzális, hatékony fizikai vagy kémiai NR előállítási módszer arra, hogy a szintetizáló rendszert érintő drága és időigényes változtatások, szennyezés vagy károsanyagkibocsátás nélkül hozzunk létre binér NR-éket. További fontos követelmény az összetételi arány széles skálán történő változtatása, oly módon, hogy a termelés és az összetétel hangolás közben teljesen kézben tartsuk a keletkező BNR-ék morfológiáját, geometriai átmérőjét és méreteloszlását. Továbbá számos alkalmazás megkíván olyan BNR-éket, melyek makroszkopikusan nem elegyedő elemekből épülnek fel. Példának okáért az arany és a kobalt egy tipikus elempár, melyből alkotott BNR-ék a hidrogén ammónia-trihidrobórán vegyületből történő katalitikus előállításában játszanak kulcsszerepet, mint katalizátor, de a szén-monoxid (CO) katalitikus oxidációjában is alkalmazzák.

Ezért a BNR-ék szikrakisüléssel történő előállítására irányuló kutatásainkból doktori tanulmányaim alatt célul tűztem ki, hogy:

- i). Sikeresen állítsak elő binér/kétkomponensű nanorészecskéket két tiszta anyagi minőségű elektród használatával, szikrakisüléses nanorészecske generátorban.
- ii). A keletkező BNR-ék teljes populációra vetített átlagos összetételét a lehető legszélesebb tartományon tudjam változtatni, mindössze a generátor elektromos paramétereinek hangolásával és az elektródok polaritásának felcserélésével.
- iii). A különböző összetételű BNR-ék geometriai átmérőjét hangoljam, hogy különböző összetételek mellett is azonos méretű részecskéket tudjak előállítani.
- iv). Fejleszteni és alkalmazni egy olyan félempirikus modellt, ami a keletkező BNR-ék átlagos összetételét képes előre jelezni.
- v). Arany-kobalt BNR-éket létrehozni SDG-ben, mely párosítás azért számít különlegesnek, mert az arany és a kobalt makroszkopikusan nem elegyedő fémek.
- vi). Megvizsgálni, hogy a BNR-ék morfológiáját és kémiai szerkezetét miként/milyen módon és mértékben lehet aeroszol fázisban történő hőkezeléssel megváltoztatni. utólagos hőkezeléssel.
- vii). Megvizsgálni az anóderózió és keresztzennyezés effektusok hatását.

3. Eszközök és módszerek

A kísérleteimet egy, a NaMiLab kutatócsoport által kifejlesztett szikrakisüléses nanorészecske generátorral (SDG) végeztem, amelyben két elektród között mikroszekundumos élettartamú szikrakisüléseket hoztam létre inert argon atmoszférában. A rendszer rúd–rúd (rod-to-rod) elektródgeometriával működik, amely jól definiált és reprodukálható feltételeket biztosít. A kisülési kör egy monolit kondenzátorból, egy nagyfeszültségű tápegységből és alacsony induktivitású vezetőkől áll.

A generátorban az elektródok közötti távolság (szikraköz) tipikusan 2,0 mm, a szikraismétlési frekvencia 100 Hz, a vivőgáz argon, amelyet 5 standard liter/perc (slm) tömegárammal vezettem át a kamrán. A kondenzátor töltési feszültsége a vizsgálatok során 1,5–2,5 kV tartományban változott, amelyhez néhány μJ energiájú szikrákat eredményezett. Az elektródok anyaga arany, ezüst és kobalt, lehetővé téve a kétkomponensű Au-Ag és Au-Co nanorészecskék előállítását.

A generátor lelkét egy gáztömör kamra adja, melyben a gázáramot tömegáramszabályozóval kontrolláltam, az elektromos jelek időbeli változását nagyfeszültségű szondával és oszcilloszkóppal mértem. A mért elektromos jelekből az áram/feszültség amplitúdói, a csillapítási tényező és az oszcillációs frekvencia meghatározásával a kisülés dinamikus paramétereit is ki tudtam értékelni.

A keletkezett aeroszolt, opcionálisan hőkezelést lehetővé tevő csőkemencén keresztül, szilárd hordozókra (réz TEM-rostély) gyűjtöttem vagy mikroszálas üveg filterre választottam le ICP-MS-sel végzett elemanalitikai vizsgálatokhoz. A nanorészecskék morfológiáját és kristálytani szerkezetét és összetételét transzmissziós elektronmikroszkóppal (TEM) tanulmányoztam. Az elektródok tömegváltozását 0,01 mg pontosságú analitikai mérleggel mértem. A szikraplazma jellemzésére időben és térben bontott emissziós spektroszkópiát használtam.

4. Új tudományos eredmények

T1: Megmutattam, hogy két egykomponensű fém elektród használatával és a szikragenerátor kisülési köre teljes ohmos ellenállásának, valamint az elektródok polaritásának változtatásával hangolható a keletkező nanorészecskék átlagos összetétele (2,0 mm-es szikraközt, 100 Hz szikraismétlési frekvenciát és 5 slm áramlási sebességű argon gázközeget alkalmazva). Az aranytartalmat Au/Ag BNR-ék esetében 43,7 at.% és 83,7 at.% között, míg Au/Co esetén 35,8 at.% és 76,0 at.% közötti lehetséges változtatni mindkét elektród polaritás használata és a kisülési kör teljes ohmos ellenállásának $1,0\ \Omega$ - $8,5\ \Omega$ közötti változtatása révén. [1, 2]

T2: Szikrakisüléses nanorészecske generátorral 100 Hz szikraismétlési frekvencia, 2,0 mm-es szikraköz, 5 slm argon gázáramlási sebesség és atmoszférikus nyomás mellett 99,99% tisztaságú Au és Ag elektródok felhasználásával előállított Au/Ag binér nanorészecskék összetételének hangolása (megvalósítva polaritásváltás és a kisülési kör teljes ohmos ellenállása révén) során szisztematikus kísérletekkel és modellszámításokkal megmutattam, hogy a keletkező részecskék összetételét a korábban alkalmazott modelleknél pontosabban lehet leírni egy olyan félempirikus modellel, ami figyelembe veszi a generátorban lejátszódó anóderóziót is. A félempirikus modell átlagosan 4,6% relatív pontossággal közelíti a

keletkezett BNR-ék ICP-MS-sel meghatározott átlagos elemösszetételének átlagértékét a teljes – elektródpolaritás váltással és a kisülési kör teljes ohmos ellenállásának 1,0-8,5 Ω -os tartományon történő változtatásával elérhető – elemösszetétel tartományon. [2]

T3: A félempirikus modellt az Au/Ag anyagi rendszer esetén keltett BNR-ék átlagos összetételéhez történő illesztése révén, továbbá az ezüstre vonatkozó szakirodalmi $U_{Ag-} = 14$ V érték alapján kalibráltam és így megbecsültem az arany katódra vonatkoztatott feszültséget jelen kísérleti körülmények között (argon gáz atmoszférikus nyomáson és 100-200 A áramerősség mellett), ami 60 V-nak adódott. Ezt a $U_{Au-} = (60 \pm 4)$ V-os értéket felhasználva illesztettem a modellt az Au/Co BNR-ék előállításakor ICP-MS-sel meghatározott átlagos összetételekhez mindkét polaritás és a kisülési kör teljes ohmos ellenállásának 1,0-8,5 Ω -os tartományán, amely esetben a legnagyobb relatív eltérés a modell és a mért értékek között mindössze 13%-os. Ebben az esetben a kobalt katódra vonatkoztatott feszültsége, $U_{Co-} = (28 \pm 3)$ V-nak adódik jelen kísérleti körülmények között. Továbbá eredményeim bizonyítják, hogy a modell két jelentősen eltérő (makroszkopikusan elegyedő (Au/Ag) és makroszkopikusan nem elegyedő (Au/Co)) anyagi rendszerek esetén is képes előre jelezni a keletkező BNR-ék átlagos összetételét. [1, 2]

T4: Az általam vizsgált Au/Ag anyagi rendszer esetén – a NaMiLab kutatócsoport SDG-jével előállított BNR-éken tesztelve – ICP-MS-sel meghatározott elemarányok segítségével – megmutattam, hogy a szakirodalomban elhanyagolt anódperiódusban vett anóderózió számottevő folyamat. Ha a katód és anóderózió megegyezik, akkor elhanyagolható lenne az anódos erózió, viszont a mérési eredményeimen látható, hogy míg az arany anódos eróziója elhanyagolható, addig ezüst esetében jelentős eltérés tapasztalható az ideális $m_{katód}/m_{anód} = 1$ aránytól. Ez az ideálistól való eltérés bizonyítja, hogy az anóderózió jelensége számottevően jelen van az általam alkalmazott szikráztatások esetében, Au/Ag anyagi rendszer esetén. [2]

T5: Szikrakisüléssel nanorészecske generátorban egykomponensű arany, illetve kobalt elektród 2,0 mm-es szikraköz, 5,0 slm argon térfogatáram és 100 Hz szikraismétlési frekvencia melletti szikra ablációjával Au/Co nanostruktúrákat hoztam létre, s megmutattam, hogy:

- **T5.1:** a makroszkopikusan nem elegyedő arany és kobalt nanoskálán ötvözhető, akár már utólagos hőkezelés nélkül is: a TEM-rostélyokra gyűjtött BNR-ék SEM, SEM-EDX és ED analízisével megmutattam, hogy a nanostruktúrákban megjelenik az Au/Co kristályos szilárd fázisa. A BNR-ék kristályos területein végzett rácssík elemzéssel megmutattam, hogy a jellemző

aranytartalom 75 at.% körül van. Megmutattam, hogy a kristályos magokat amorf kobalt-oxid veszi körül. [1]

- **T5.2:** a szikragenerátorban keltett, hőkezeletlen Au/Co/CoO_x nanorészecskék morfológiája és kristálytani szerkezete nem változik meg ha a kisülési kör teljes ohmos ellenállását 1,0 Ω-ról 5,4 Ω-ra növelem. 5,4 Ω-os esetben ugyanaz a tiszta arany és maximum 25 at.% kobalttartalmú ötvözet magok és az azokat körülvevő amorf CoO_x struktúrák tapasztalhatók a HR-TEM felvételek elemzése során. A BNR-ék méreteloszlása azonban drasztikusan megváltozik. A primer nanorészecskék geometriai átlagátmérője (geometric mean) az 1,0 Ω-os esetben jellemző $(4,50 \pm 0,13)$ nm-ről, 5,4 Ω-nál $(3,2 \pm 0,21)$ nm-es értékre csökkent, összhangban a szikraenergia csökkenésével. Méréseim azt is igazolják, hogy a generátor kisülési körének 5,4 Ω-os teljes ohmos ellenállásánál generált részecskék méreteloszlásában megjelent egy másodlagos csúcs is, kb.9 nm-nél. [1]
- **T5.3:** Szikrakisüléses nanorészecske generátorban előállított Au/Co/CoO_x nanorészecskék aeroszol fázisban történő 900 °C-os utóhőkezelése a szikra keltette nanostruktúrák morfológiájának és kristálytani szerkezetének megváltozását eredményezi. A hőkezelés hatására az amorf CoO_x kristályosodása során létrejönnek fázisszegregált Au/Co/CoO_x részecskék, melyek „egymáshoz tapadó” struktúrába rendeződnek. [1]

6. Publikációk

Tézisek alapját képező publikációk

[1] **Lajos Péter Villy**, Attila Kohut, Albert Kéri, Ádám Béltéki, György Radnóczy, Zsolt Fogarassy, György Zoltán Radnóczy, Gábor Galbács & Zsolt Geretovszky: „*Continuous spark plasma synthesis of Au/Co binary nanoparticles with tunable properties*”, Scientific Reports, **12**, 18560 (2022), MTMT: 33208918, **IF: 4,600 [T1, T3, T5]**

[2] Attila Kohut, **Lajos Péter Villy**, Albert Kéri, Ádám Béltéki, Dániel Megyeri, Béla Hopp, Gábor Galbács & Zsolt Geretovszky: „*Full range tuning of the composition of Au/Ag binary nanoparticles by spark discharge generation*”, Scientific Reports, **11**, 5117 (2021), MTMT: 31879425, **IF: 4,996 [T1, T2, T3, T4]**

További publikációk

[K1] Attila Kohut, **Lajos Péter Villy**, Linnéa Jönsson, Dániel Megyeri, Gábor Galbács, Maria E. Messing, Zsolt Geretovszky: „*Gold–silver alloy nanoparticle formation via spark ablation: the dynamics of material mixing*”, Nanoscale Advances, **7**, 3322–3330, (2025), MTMT: 36100289, **IF: 4,700**

[K2] Attila Kohut, **Lajos Péter Villy**, Gergely Kohut, Gábor Galbács, and Zsolt Geretovszky: „*A Calibration-Free Optical Emission Spectroscopic Method to Determine the Composition of a Spark Discharge Plasma Used for AuAg Binary Nanoparticle Synthesis*”, Applied Spectroscopy, **77**, 12, (2023), MTMT: 34393015, **IF: 2,200**

[K3] Dávid J. Palásti, **Lajos Péter Villy**, Bálint Leits, Albert Kéri, Attila Kohut, Ádám Béltéki, Gyula Kajner, Fernando A. Casian Plaza, Éva Kovács-Széles, Tibor Ajtai, Miklós Veres, Zsolt Geretovszky, Gábor Galbács: „*Detection and characterization of mono- and bimetallic nanoparticles produced by electrical discharge plasma generators using laser-induced breakdown spectroscopy*”, Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, **209**, 106804, (2023), MTMT: 34536295, **IF: 3,200**

[K4] Dávid J. Palásti, **Lajos Péter Villy**, Attila Kohut, Tibor Ajtai, Zsolt Geretovszky, Gábor Galbács: „*Laser-induced breakdown spectroscopy signal enhancement effect for argon caused by the presence of gold nanoparticles*”, Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, **193**, 106435, (2022), MTMT: 32836484, **IF: 3,300**

[K5] Attila Kohut, **Lajos Péter Villy**, Tibor Ajtai, Zsolt Geretovszky, Gábor Galbács: „*The effect of circuit resistance on the particle output of a spark discharge nanoparticle generator*”, Journal of Aerosol Science, **118**, pp. 59-63., (2018), MTMT: 3326631, **IF: 2,240**

Konferencia előadások és posztterek

Szóbeli előadás

[S1] XVI. Magyar Aeroszol Konferencia, Szarvas, 2024

Előadás cím: Szikra ablációval előállított arany-kobalt nanorészecskék keveredésének vizsgálata

Villy Lajos Péter, Kohut Attila, Geretovszky Zsolt

MTMT: 36378622

[S2] XV. Magyar Aeroszol Konferencia, Hévíz, 2022

Előadás cím: Hidrogén hatása a szikra plazmára és a keletkező nanoaeroszokra szikra ablációs előállítás során

Villy Lajos Péter, Kohut Attila, Márton Zsuzsanna, Geretovszky Zsolt

MTMT: 36378628

[S3] Tavaszi Szél Konferencia 2022, Pécs, 2022

Előadás címe: Elektrodanyagok keveredési dinamikájának vizsgálata emissziós spektroszkópiával nanorészecskék szikra ablációval történő előállítása során

Villy Lajos Péter, Kohut Attila, Márton Zsuzsanna és Geretovszky Zsolt

MTMT: 36378646

[S4] Kárpát-medencei Fiatal Magyar Kutatók Konferenciája, Online ZOOM, 2021

Előadás címe: Szikra ablációs módszerrel előállított arany-kobalt binér nanorészecskék morfológiájának és összetételének vizsgálata

Villy Lajos Péter, Kohut Attila, Kéri Albert, Bélteki Ádám, Galbács Gábor, és Geretovszky Zsolt

MTMT: 36378653

[S5] XIV. Magyar Aeroszol Konferencia, Visegrád, 2019

Előadás cím: Kétkomponensű nanorészecskék előállítása és összetételük változtatása szikrakisüléses nanorészecske generátorban

Villy Lajos Péter, Kohut Attila, Kéri Albert, Bélteki Ádám, Galbács Gábor, és Geretovszky Zsolt

MTMT: 36378702

Poszter prezentáció

[P1] Kvantumelektronika 2025: Szimpózium a hazai kvantumelektronikai kutatások eredményeiből, Szeged, 2025

Mixing dynamics of gold and silver atomic plumes during the spark ablation synthesis of alloy nanoparticles

Attila Kohut, **Lajos Péter Villy**, Linnéa Jönsson, Dániel Megyeri, Gábor Galbács, Maria E. Messing, Zsolt Geretovszky

MTMT: 36329522

[P2] European Aerosol Conference, Malaga, Spain, 2023

The effect of hydrogen on the spark plasma and generated nanoparticles produced in a spark discharge generator

Lajos Péter Villy, Zsuzsanna Márton, Attila Kohut, Zsolt Geretovszky

MTMT: 36378751

[P3] 11th International Aerosol Conference, Athen, Greece, 2022

On the mixing dynamics of the electrodes' material during the formation of multicomponent nanoparticles in a spark discharge generator

Lajos Péter Villy, Gábor Galbács, Zsuzsanna Márton, Zsolt Geretovszky, Attila Kohut

MTMT: 36388699

[P4] International Workshop on LIBS, Szeged, 2020

On-line and off-line libs detection of nanoaerosols generated by electrical discharges

Ádám Béltéki, Tira Biro, Dávid J. Palásti, **Lajos P. Villy**, Bálint Leits, Albert Kéri, Attila Kohut, Éva Kovács-Széles, Tibor Ajtai, Zsolt Geretovszky, Gábor Galbács

MTMT: 31817889

[P5] International Workshop on LIBS, Szeged, 2020

Signal enhancement of gaseous samples in the presence of nanoaerosols generated by a spark discharge

Lajos Péter Villy, Dávid J. Palásti, Gábor Skoda, Attila Kohut, Zsolt Geretovszky, Éva Kovács-Széles, Gábor Galbács

MTMT: 3181791

[P6] 10th Euro-Mediterranean Symposium on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, EMSLIBS, Praha, Czech Republic, 2019
Nanoparticle analysis by LIBS and ICP-MS in industrial and environmental samples

Palásti Dávid, Kéri Albert, **Villy Lajos Péter**, Biros Tyra, Béltéki Ádám, Leits Bálint, Janovszky Patrick, Kohut Attila, Kovács-Széles Éva, Geretovszky Zsolt, Galbács Zoltán, Galbács Gábor
MTMT: 32151550

[P7] 25th International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, 2019

Assessment of the usefulness of libs and icp-ms for the characterization of nanoparticles in industrial and environmental samples

Dávid Palásti, Albert Kéri, **Lajos Péter Villy**, Tíria Biros, Ádám Béltéki, Bálint Leits, Patrick Janovszky, Attila Kohut, Zoltán Galbács, Éva Kovács-Széles, Zsolt Geretovszky, Gábor Galbács
MTMT: 32151520

[P8] European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, Pau, France, 2019

Composition and morphology analysis of bimetallic nanoparticles generated in a spark discharge plasma

Albert Keri, Henrik Bali, **Lajos Péter Villy**, Attila Kohut, Tibor Ajtai, Zsolt Geretovszky, Gabor Galbács
MTMT: 31903065

[P9] 24th International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, 2018

Study of the composition and size distribution of gold-containing bimetallic nanoparticles synthesized in a spark discharge generator

Bali Henrik, Kéri Albert, Kohut Attila, **Villy Lajos Péter**, Béltéki Ádám, Geretovszky Zsolt, Galbács Gábor
MTMT: 31604464

MTMT azonosító: 10077115

TÁRSSZERZŐI LEMONDÓ NYILATKOZAT

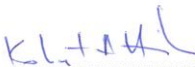
Alulírott, mint a

Lajos Péter Villy, Attila Kohut, Albert Kéri, Ádám Bélteki, György Radnóczi, Zsolt Fogarassy, György Zoltán Radnóczi, Gábor Galbács & Zsolt Geretovszky: „Continuous spark plasma synthesis of Au/Co binary nanoparticles with tunable properties”, Scientific Reports, **12**, 18560 (2022), MTMT: 33208918, IF: **4,600 (2022)**

publikáció társszerzője nyilatkozok arról, hogy **Villy Lajos Péter** doktorjelölt „Kétkomponensű nanoszerkezetek szikra ablációs előállítás” című doktori értekezésében felhasználta, a jelölt [T1, T3, T5] tézispontjaiban megfogalmazott eredményeket ismerem. Ezek elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezen eredményeket eddig nem használtam fel tudományos fokozat megszerzésére és ezt a jövőben sem teszem. Hozzájárulok ahhoz, hogy a jelölt a [T1, T3, T5] tézispontokban szereplő eredményeket PhD fokozata megszerzéséhez felhasználja.

Szeged, 2025.10.29.


.....
Dr. Geretovszky Zsolt
témavezető és társszerző


.....
Dr. Kohut Attila
társszerző


.....
Dr. Kéri Albert
társszerző


.....
Bélteki Ádám
társszerző


.....
Dr. Radnóczi György
társszerző


.....
Dr. Radnóczi György Zoltán
társszerző


.....
Dr. Fogarassy Zsolt
társszerző


.....
Dr. Galbács Gábor
társszerző

TÁRSSZERZŐI LEMONDÓ NYILATKOZAT

Alulírott, mint a

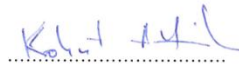
Attila Kohut, **Lajos Péter Villy**, Albert Kéri, Ádám Béltéki, Dániel Megyeri, Béla Hopp, Gábor Galbács & Zsolt Geretovszky: „Full range tuning of the composition of Au/Ag binary nanoparticles by spark discharge generation”, Scientific Reports, **11**, 5117 (2021), MTMT: 31879425, IF: 4,996 (2021)

publikáció társszerzője nyilatkozok arról, hogy **Villy Lajos Péter** doktorjelölt „Kétkomponensű nanoszerkezetek szikra ablációs előállítás” című doktori értekezésében felhasználta, a jelölt [T1, T2, T3, T4] tézispontjaiban megfogalmazott eredményeket ismerem. Ezek elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezen eredményeket eddig nem használtam fel tudományos fokozat megszerzésére és ezt a jövőben sem teszem. Hozzájárulok ahhoz, hogy a jelölt a [T1, T2, T3, T4] tézispontokban szereplő eredményeket PhD fokozata megszerzéséhez felhasználja.

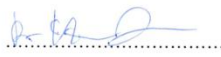
Szeged, 2025.10.29.



.....
Dr. Geretovszky Zsolt
témavezető és társszerző



.....
Dr. Kohut Attila
társszerző



.....
Dr. Kéri Albert
társszerző



.....
Béltéki Ádám
társszerző



.....
Megyeri Dániel
társszerző



.....
Dr. Galbács Gábor
társszerző



.....
Prof. Dr. Hopp Béla
társszerző