

A JÖVŐ TE VAGY!

KIVÁLÓSÁGI PROGRAMOK A MŰEGYETEMEN
CÍMŰ TUDOMÁNYOS KONFERENCIA

ABSZTRAKTFÜZET

2026. május 28.



KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS
MINISZTERIUM



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL



KUTATÁSI ÉS FEJLESZTÉSI HÁLÓZATOK



Egyetemi Kutatói
Ösztöndíj Program



MŰEGYETEM 1782

BME

A PROGRAMVÁLTOZÁS JOGÁT FENNTARTJUK!

Az absztraktfüzet megtalálható a konferencia honlapján.

A kutatások megvalósulását és a konferenciát az
Innovációs és Technológiai Minisztérium
és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
támogatta.

ISBN 978-615-112-018-7

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
www.bme.hu

A SZERVEZÉSBEN KÖZREMŰKÖDTEK:

Dr. Charaf Hassan rektor
Dr. Levendovszky János tudományos rektorhelyettes

SZERKESZTETTE:

Flachner Bernadett
Mészáros Zsuzsanna
Szabó Zsuzsanna

TARTALOMJEGYZÉK

ELŐSZÓ A "A JÖVŐ TE VAGY!"	9
KIVÁLÓSÁGI PROGRAMOK A MŰEGYETEMEN CÍMŰ TUDOMÁNYOS KONFERENCIÁHOZ	9
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR	10
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR I.	10
Feczkó Nóra	11
Gál Péter Levente	12
Magos István Barnabás	13
Szirovatka Lilla Eszter	14
Nagy Botond Előd	15
Decsi Bence	16
Illés Zsombor	17
Kardos Máté Krisztián	18
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR II.	19
Petresevics Fanni	20
Hatalyák Martin	21
Horváth András	22
Pap Tibor	23
Rosa Richárd Joao	24
Molnár Sára	25
Márton Attiláné Virág Katinka	26
ÉPÍTŐMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK	27
Druga Richárd	28
Szatmári Levente	29
Tantawi Mokhtar	30
Baranyai Dániel	31
Barta Márk Endre	32
Bartakovics Edina	33
Szinvai Szabolcs	34
Tóth Bálint	35
ÉPÍTÉSZMÉRNÖKI KAR	36
ÉPÍTÉSZMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK	36
Almádi Gergő	37
Budaházi Fanni	38
Geraszin Nikolett Kitti	39
Hajas Ábel	40
Kis Alexandra Éva	41
Pődör Gergő	42
Szondi Máté Álmos	43
Varga Kristóf Renátó	44
Zubek Károly	45
Zubek Károly	46
ÉPÍTŐMŰVÉSZET	47
Dormán Miklós	48

Erdős Imre.....	49
Érsek Máté	50
Gulyás Eszter	51
Herczeg-Szakonyi Luca Zsófia	52
Karlovecz Ádám.....	53
Kolossváry Bernadett	54
Nedeczky Zsolt	55
Rátgéber László.....	56
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR	57
GÉPÉSZMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK I.....	57
Ágoston Dorottya.....	58
Bertók Zsanett.....	59
Horváth Botond	60
Markó Balázs.....	61
Mező Péter Bálint.....	62
Balog Boglárka	63
Friedrich Péter.....	64
Kalmár Péter	65
Kulcsár Márton	66
Nagy Dániel.....	67
GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK II.....	68
Szalainé Kaczkó Orsolya Ibolya	69
Döbrentei Sándor	70
Erdős Dávid.....	71
Kiss Gyula Richárd	72
Kocsis Kende János	73
Sziffer Bence	74
Papp Klaudia	75
Takács Zoltán	76
Kovács Márk.....	77
Lévai Emese.....	78
GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK III.....	79
Gyenge Ákos Barnabás	80
Horváth Dávid András	81
Hubay Csanád Árpád	82
Mizsei Márton Zoltán.....	83
Rochlitz Róbert Zoltán.....	84
Balogh Fanni	85
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR - FIATAL OKTATÓ, KUTATÓK	86
Szlancsik Attila	87
Balla Esztella Éva.....	88
Gergely László Zsolt.....	89
Urbán Ágnes	90
Kádár Fanni.....	91
Kiss Lóránt	92
Kovács Zsófia	93
Tóth Csenge	94
Virág Ábris Dávid.....	95

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR I.	96
Bilszky Márk	97
Magyari Zsombor	98
Magyari Zsombor	99
Pesti Patrik	100
Borbás Balázs	101
Seprős Szilárd	102
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR II.	103
Kovács Kinga Andrea	104
Csapó Maja	105
Görbe Ákos	106
Kunsági Viktória	107
Kardos Réka Anna	108
Németh Márton Bence	109
Rácz Erika	110
Szabó Bence	111
MŰSZAKI MECHANIKA SEKCIÓ	112
Agócs Norbert	113
Bauer Balázs László	114
Békési Balázs János	115
Endrész Balázs	116
Endrész Balázs	117
Horváth Roland	118
Martinovich Kristóf	119
Mihályi Levente	120
Richlik Róbert Kristóf	121
Szabó Márton	122
Plavec Lambert	123
GAZDASÁG ÉS TÁRSADALOMTUDOMÁNYI KAR	124
GAZDASÁG- ÉS ÜZLETI TUDOMÁNYOK	124
Holczinger Norbert	125
Molnár László	126
Lülök Gergely	127
Szemere Dorottya	128
Varga Levente	129
Zsiros Ádám János	130
Surman Vivien	131
HUMÁN- ÉS TÁRSADALOMTUDOMÁNYOK	132
Prémus Karina	133
Jancsó Veronika	134
Molnár Marietta	135
Schweigert-Kisida Krisztina	136
Hortay Olivér	137
Egres Dorottya	138
Karakas Alexandra	139
KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR	140
AUTONÓM JÁRMŰVEK ÉS FIZIKAI RENDSZEREK IRÁNYÍTÁSA	140

<i>Lelkó Attila</i>	141
<i>Lindenmaier László</i>	142
<i>Ormándi Tamás</i>	143
<i>Wágner Tamás</i>	144
<i>Widner Attila</i>	145
INTELLIGENS MOBILITÁS ÉS KÖZLEKEDÉSI RENDSZEREK	146
<i>Göntér Ábel</i>	147
<i>Hegyi Patrik Zsolt</i>	148
<i>Korompay Márton</i>	149
<i>Kovács Ramón</i>	150
<i>Nagy Roland</i>	151
<i>Uglik Zsolt Tiborc</i>	152
JÁRMŰIPARI ÉS GYÁRTÁSI RENDSZEREK, BIZTONSÁG ÉS MÉRNÖKI MEGOLDÁSOK	153
<i>Kiss-Nagy Krisztián</i>	154
<i>Kovács Bálint</i>	155
<i>Molnár-Major Petra</i>	156
<i>Nagy Emil</i>	157
<i>Stáncz János</i>	158
<i>Tóth Szilárd Hunor</i>	159
MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ÉS MULTIMODÁLIS MODELLEK A KÖZLEKEDÉSBEN	160
<i>Balogh Csanád Levente</i>	161
<i>Czibere Balázs</i>	162
<i>Csippán György</i>	163
<i>Gujgiczler Dániel Tamás</i>	164
<i>Knáb István Gellért</i>	165
<i>Mitrenga Márk</i>	166
<i>Mitrenga Márk</i>	167
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR	168
ELMÉLETI FIZIKA	168
<i>Layous Róbert</i>	169
<i>Benedek Kristóf</i>	170
<i>Csépányi István</i>	171
<i>Fitos Bence</i>	172
<i>Kondákor Márk</i>	173
<i>Nagy Botond</i>	174
<i>Svastits Domonkos</i>	175
FIZIKA	176
<i>Sinóros-Szabó Zsombor</i>	177
<i>Vincze Csongor</i>	178
<i>Volk János</i>	179
<i>Fekete Levente</i>	180
<i>Pollner Zsigmond Sándor</i>	181
<i>Baumgärtner Margaréta</i>	182
<i>Fehérvári János Gergő</i>	183
<i>Kucsera Robin</i>	184
<i>Tóth Balázs</i>	185
<i>Mikeházi Antal János</i>	186
<i>Szász Bence</i>	187

Szentpéteri Bálint	188
MATEMATIKA	189
Beke Márton	190
Természettudományi Kar	190
Algebra és Geometria Tanszék	190
Orgoványi Vilma	191
Kiss Csaba	192
Köller Donát Ákos	193
Martos Domonkos	194
Bálint Béla	195
NUKLEÁRIS TECHNIKA	196
Várkonyi Zsófia Julianna	197
Várkonyi Zsófia Julianna	198
Fekete Dezső Domonkos	199
Boros Máté István	200
Gazdag-Hegyesi Szilvia	201
Pázmán Előd	202
PSZICHOLÓGIAI TUDOMÁNYOK	203
Lukics Krisztina Sára	204
Ugrin Bálint József	205
Szeberényi Noémi Petra	206
Kiss Eszter Ágnes	207
Makai Míra	208
VEGYÉSZMÉRNÖKI ÉS BIOMÉRNÖKI KAR	209
FIZIKAI KÉMIA ÉS ANYAGTUDOMÁNYOK	209
Borbás Balázs	210
Kiss Etelka	211
Bors Adrienn	212
Koncz Medárd	213
Mihalovics Bence	214
Pilter Lilla	215
Romsics Imre	216
Rudolf Mihály Mátyás	217
Barhács Balázs Marcell	218
Fekete Csilla	219
Bartek Máté	220
SZERVES KÉMIA ÉS TECHNOLÓGIA	221
Fazekas Bettina	222
Fekete Dániel	223
Halmai Mónika	224
Kisfaludi Péter	225
Ötvös Bettina	226
Péli Noémi	227
Péter-Haraszti Anna	228
Stoffán György Nimród	229
Stummer Tamás	230
Szabó Bence	231
Tuba László	232

SZERVES KÉMIA	233
<i>Hangya Kinga Imola</i>	<i>234</i>
<i>Varga Bertalan</i>	<i>235</i>
<i>Gémes Gergő</i>	<i>236</i>
<i>Gyöngyössy Ádám</i>	<i>237</i>
<i>Győrfi Sára</i>	<i>238</i>
<i>Szeip Judit</i>	<i>239</i>
<i>Garami Kristóf Noel</i>	<i>240</i>
<i>Hajdú Dorottya Katalin</i>	<i>241</i>
<i>Jávor Bálint Ferenc</i>	<i>242</i>
<i>Ujj Dóra Viktória</i>	<i>243</i>
VEGYÉSZMÉRNÖKI ÉS BIOMÉRNÖKI FIATAL OKTATÓ, KUTATÓ	244
<i>Márton Péter</i>	<i>245</i>
<i>Tóth Gergő Dániel</i>	<i>246</i>
<i>Golcs Ádám</i>	<i>247</i>
<i>Hessz Dóra</i>	<i>248</i>
<i>Madarász Lajos</i>	<i>249</i>
<i>Nagy Brigitta</i>	<i>250</i>
<i>Simon László Ferenc</i>	<i>251</i>
VEGYÉSZMÉRNÖK ÉS BIOMÉRNÖK	252
<i>Hegyi Mihály</i>	<i>253</i>
<i>Kántor Petra</i>	<i>254</i>
<i>Marton András Dénes</i>	<i>255</i>
<i>Martinusz Róbert Márk</i>	<i>256</i>
<i>Szajkó Milda Blanka</i>	<i>257</i>
<i>Tóth Otília</i>	<i>258</i>
<i>Emődi Nikolett</i>	<i>259</i>
<i>Kese István</i>	<i>260</i>
<i>Vészi Atád</i>	<i>261</i>
VILLAMOSMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR	262
ANYAGTUDOMÁNY ÉS KÖRNYEZETI TECHNOLÓGIÁK	262
<i>Ali Gharaibeh</i>	<i>263</i>
<i>Pintér Bálint</i>	<i>264</i>
<i>Sallai Igor</i>	<i>265</i>
<i>Sepsik Norman</i>	<i>266</i>
<i>Stift Máté Kálmán</i>	<i>267</i>
<i>Székely László</i>	<i>268</i>
<i>Tafferner Zoltán</i>	<i>269</i>
HÁLÓZATOK, FELHŐ- ÉS KVANTUMKOMMUNIKÁCIÓ	270
<i>Czermann Márton</i>	<i>271</i>
<i>Ficzere Dániel</i>	<i>272</i>
<i>Karsa Zoltán István</i>	<i>273</i>
<i>Maller Levente Márk</i>	<i>274</i>
<i>Mihály András</i>	<i>275</i>
<i>Oláh Kitty</i>	<i>276</i>
<i>Simon Zoltán</i>	<i>277</i>
<i>Szabó Marcell</i>	<i>278</i>
<i>Vajda Dániel László</i>	<i>279</i>

MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ÉS ADATTUDOMÁNY	280
Barcza Bende	281
Gedeon Máté Károly	282
Papp Dávid	283
Sándor Dániel	284
Torma Szabolcs	285
Tumay Ádám	286
MODELLEZÉS ÉS ALGORITMUSOK	287
Csonka Bence	288
Deé-Lukács András Gergely	289
Nagy Simon József	290
Nemkin Viktória	291
Szekeres Kornél	292
OKOS KÖZLEKEDÉS ÉS JÁRMŰIPARI RENDSZEREK	293
Bányász László	294
Bereczki Norman Zoltán	295
Béres András	296
Ficsor Attila	297
Kovács Gergely Attila	298
Szinyéri Bence	299
SZOFTVER-ÉS RENDSZERTERVEZÉS, FORMÁLIS VERTIFIKÁCIÓ	300
Cziborová Dóra	301
Fiák Ádám	302
Furmann Áron	303
Mondok Milán	304
Szabó Richárd	305
Telbisz Csanád Ferenc	306
Toldi Balázs Ádám	307
Zavada Ármin Zsolt	308
TELJESÍTMÉNY ELEKTRONIKA ÉS SZABÁLYOZÁSTECHNIKA	309
Bándy Kristóf Gábor	310
Kovács Bence Csaba	311
Orvai Róbert	312
Püspöki Péter	313
Stranyóczy László	314
Szécsényi Nándor	315
Tóth-Katona Tamás	316
VILLAMOSENERGIA-RENDSZEREK	317
Babai András	318
Dürgő Gergely	319
Galó András	320
Juhász Kristóf Péter	321
Táczai István	322
Török Regina	323
Török Regina	324

Előszó a "A jövő Te vagy!"

Kiválósági programok a Műegyetemen című tudományos konferenciához

A tudományos kutatás világa folyamatosan formálódik, fejlődik és az egyetemi kutatók által végzett munka meghatározó szerepet játszik ebben a folyamatban. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemhez kapcsolódó **Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Program (EKÖP)**, **Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Program Kooperatív Doktori Program (EKÖP-KDP)** és a **Doktoranduszi Kiválósági Ösztöndíj Program (DKÖP)** keretében támogatott hallgatók és kutatók tudományos teljesítményeikkel hozzájárulnak a hazai és nemzetközi tudományos élet gazdagodásához, eredményeik ipari fejlesztésekben hasznosulhatnak, így részt vesznek a gazdasági értékteremtésben is. A kutatások nemcsak a meglévő ismeretek mélyítését szolgálják, hanem innovatív megoldásokat és új technológiákat is eredményezhetnek, amelyek hosszútávon befolyásolhatják a tudomány és az ipar fejlődését és mindennapi életünket.

A kötetben szereplő, a fenti programok keretein belül folytatott kutatások a műszaki és természettudományoktól az informatikán át a társadalomtudományokig és építőművészetekig terjednek. Hallgatóink és kutatóink munkája nem csupán az ismeretek mélyítését szolgálja, hanem közvetlen gazdasági értékteremtést és ipari hasznosítást is célloz.

Az absztraktfüzetben szereplő munkák a **2026. május 28-án megrendezésre kerülő „A jövő Te vagy!” - Kiválósági programok a Műegyetemen című online tudományos konferencián** kerülnek bemutatásra. Az esemény során 15 perces előadások keretében **283 ösztöndíjas** mutatja be eredményeit, lehetőséget teremtve a szakmai párbeszédre, az új kutatási irányok kijelölésére és a tudományterületek közötti együttműködésre

A fiatal kutatók számára kulcsfontosságú az ilyen események megrendezése, hiszen lehetőséget biztosít eredményeik megosztására, együttműködések kialakítására és a különböző tudományterületek közötti szakmai párbeszéd elősegítésére.

Bízunk benne, hogy ez a kötet beteljesíti a fenti célokat.

Az idei rendezvénnyel kapcsolatban elérhető további kiadványaink és videóink a <https://kivalosagiprogramok.bme.hu/> oldalon érhetőek el.

ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR

ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR I.

Feczkó Nóra

Építőmérnöki Kar

Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

Szabadformájú térbeli rúdszerkezetek parametrikus vizsgálata

Antoni Gaudí már a 20. század elején a Colonia Güell kriptájának tervezésénél belátta, hogy a kétdimenziós szerkesztés nem elegendő a felmerülő komplexebb problémák megoldására. Ezért mennyezetre függesztett fonalak és ólomsúlyok segítségével készített modellt, melynek, ha a fényképfelvételét megfordítva szemlélte, akkor a fonalak az erők által meghatározott, logikus szerkezeti váz formáját adták. Később Heinz Isler függesztett membrán módszere is hasonlóan működött különböző vékony héjszerkezetek tervezése során. Ezen ötletek nyomán indultam el és alapvetően egy parametrikus vizsgálatra alkalmas eljárás kidolgozását tűztem ki célul, szabadformájú térbeli rúdszerkezetek alakjának meghatározására fektetve a hangsúlyt. A tervezett rúdszerkezetek geometriáját topológiai szempontból megfelelő kötélnálók adott terhelésre kapott egyensúlyi alakjának tükörképeként vettem fel, így biztosítva a statikailag kedvező viselkedést és a nagy fesztávú, belső alátámasztás nélküli térlefedés lehetőségét. Az egyensúlyi alak megtalálásához a dinamikus ellazítás módszerét alkalmaztam, mely alapján a kötélnálók fiktív mozgását C# programnyelven írtam le. A parametrikus vizsgálatához a különböző modelleket a Rhinoceros 3D szoftver Grasshopper moduljában készítettem el. Végül a statikai ellenőrzésben, illetve a szerkezeti viselkedésük összehasonlításában a beépített Karamba3D szoftver nyújtott segítséget.

Gál Péter Levente

Építőmérnöki Kar

Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

A vízmegtartás hidrológiai hatásainak modellvizsgálata egy síkvidéki területen

Az Alföld vízgazdálkodásának egyik legnagyobb kihívását a „sok víz - kevés víz” probléma jelenti. A klímaváltozás következményeként egyre gyakoribbá válnak a szélsőséges időjárási viszonyok: aszály, ár- és belvizek sújtják a tájegységet. A kiszámíthatatlanabbá váló ár- és belvizek idején megjelenő többletvíz táji léptékű hasznosítása megoldást jelenthet a terület egyre szárazabbá válására és az aszályok okozta kihívásokra. A Közép-Tisza-vidéken található Nagykörűn és környékén már a rendszerváltást követően megindultak törekvések az ártéri rehabilitáció, az ártéri tájgazdálkodás megvalósítása érdekében. A Doba-csatorna vízgyűjtőjén, a Nagykörűi-öblözetben megtalálhatók az árvíz kivezetésére és a belvíz megtartására alkalmas területek egyaránt. Kutatásom során a MIKE SHE 3D fizikai alapú hidrológiai modell és a MIKE+ 1D hidrodinamikai modell kapcsolt alkalmazásával fejlesztettem tovább a vízgyűjtő integrált modelljét. A kapcsolt rendszer lehetővé teszi a felszíni, felszín alatti és mederbeli folyamatok együttes vizsgálatát, ugyanakkor a modellek összekapcsolása számos technikai kihívást okozott. Kiemelt problémát jelentett a meder- és terepszintek konzisztenciájának biztosítása, az elárasztható (flood) cellák és a partszint (bank level) paraméterek helyes definiálása. A nem megfelelően definiált kapcsolati paraméterek instabilitást, túlzott felszíni elöntést és konvergencia-problémákat eredményezhetnek a felszín alatti modulban. A dolgozat részletesen bemutatja a modellépítés során felmerült kapcsolási nehézségeket. Beszámolók a távérzékelési adatok (például a Copernicus Land Monitoring Service Leaf Area Index - levélfelületi index) alkalmazási lehetőségeiről. Kutatásom távlati célja különböző vízvisszatartási forgatókönyvek segítségével elemezni a vízmegtartás lehetséges hidrológiai hatásait a mintaterületen és ezek alapján javaslatot tenni, mely területeken valósítható meg ökológiai célzatú vízmegtartás.

Magos István Barnabás

Építőmérnöki Kar

Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Magyarországra optimalizált áramlásmodellezés rácshálógenerálásának automatizálási fejlesztése

Kutatásom célja az árvízi események szimulációját lehetővé tevő 2D hidrodinamikai modellezés alapját képező számítási rácsháló minél optimálisabb előállításához alkalmazható módszer elkészítése volt. Releváns kutatási területnek érzem a 2D modellezés hatékonyságának fejlesztését, hiszen a klímaváltozás hatására fokozódó szélsőséges meteorológiai események miatt az árhullámok mind idő-, mind intenzitásbeli növekedésére kell számítanunk a jövőben.

A számítási háló előállítása hagyományos módszerekkel összetett és időigényes feladat. A kihívás mértéke természetesen számos paraméter függvénye, többek között ilyen a modellezendő terület kiterjedése, a geometria összetettsége, a vízterelő objektumok mennyisége és kiterjedése. A kifejlesztett eljárásomhoz szükséges bemeneti adatok megegyeznek a hagyományos módszernél használatosakkal, nevezetesen a mintaterület terepmodelljével, illetve a terület kiterjedését, illetve a vízterelő objektumok nyomvonalát tartalmazó shape-fájlokkal.

Kutatásom középpontjában egy felhasználóbarát rácshálógeneráló algoritmus kifejlesztése állt. A programkódot Python-környezetben készítettem és a bemeneti adatok, valamint a felhasználó által megadott paraméterek - mint alapfelbontás, hálófinomítási mélység - alapján a kód néhány perc alatt hajtja végre a jól algoritmizálható quadtree-metódus szerint a hálógenerálás műveletét.

Mintaterületül a Nagykunsági ártéri öblözetet választottam, amely ugyancsak bővelkedik vízterelő objektumokban, valósággal behálózva a területet a számos természetes és mesterséges meder, valamint út-, illetve gáttöltés.

Több hálót generáltattam a mintaterületre eltérő alapcellamérettel és/vagy különböző finomítási mélységgel, amelyekre előtésszimulációkat végeztem, melyeket az ÁKK projekt keretében készített modell szimulációs eredményeivel vetettem össze.

Továbbá egy Ipoly-szakaszra is generáltattam rácshálókat, hogy eljárásom tesztelése ne csupán egyetlen területre korlátozódjon. Az Ipoly mentén árvízi események idején nagyterületű ártéri elöntések figyelhetők meg, így az Ipolyt környező területre generált hálókon valós múltbéli árvízi hidrológiai eseményeket szimuláltam, a modellterület elöntésének mértékét pedig a valóságban tapasztalattal vettem össze.

Egy megbízhatóan működő és felhasználóbarát rácshálógeneráló módszert eredményeztek kutatásaim, melynek legnagyobb előnye a csupán pár perc alatt előállítható számítási háló. Összehasonlításképpen ez a feladat - összetettsége függvényében - hagyományos módszerekkel akár többnapos munkát is igénybe vehet.

Szirovatka Lilla Eszter

Építőmérnöki Kar

Hidak és Szerkezetek Tanszék

Légköri korróziónak ellenálló acélszerkezetek hídépítési alkalmazása

Az építőipar felelős a globális szén-dioxid-kibocsátás jelentős részéért (~25%), ezért az elmúlt években nagy hangsúlyt fektetnek fenntarthatóbb technológiák alkalmazására és kifejlesztésére. Ennek számos lehetősége létezik, kezdve a környezetbarátabb építési technológiák alkalmazásától az alacsonyabb karbonlábnyomú anyagok használatáig. A TDK dolgozatom ez utóbbi kérdéskörrel foglalkozik.

A hídépítésben használt acélszerkezeteket több rétegben felvitt védőfestékekkel kell bevonni, mely megakadályozza az anyag korrodálásából eredő szerkezeti károsodást. Ez a megoldás hatékony, ugyanakkor jelentős környezeti terheléssel jár, mivel a bevonatot körülbelül tízévente fel kell újítani és a festék alkalmazása rendkívül magas karbonlábnyommal párosul. E problémára kínál alternatívát az időjárásálló, más néven légköri korróziónak ellenálló acél, amelynek nincs szüksége külön bevonatra. Ez az acél a levegő és a nedvesség hatására természetesen védő oxidréteget képez, amely külső bevonat nélkül is védelmet nyújt a korrózió ellen. Magyarországon jelenleg csak gyalogoshidak építésénél alkalmazható, ugyanakkor számos országban már régóta elterjedten használják közúti hidaknál is.

A kutatásom első részében egy öszvérhíd két változatának CO₂

kibocsátását hasonlítom össze: az egyikben hagyományos acél, a másikban időjárásálló acél alkalmazásával. A dolgozat második részében a légköri korróziónak ellenálló acél szilárdságtani tulajdonságait laboratóriumi mérési adatok alapján értékelem, majd összevetem ezeket a jelenleg használt acél tulajdonságaival. A kutatás célja, hogy átfogó képet adjon az időjárásálló acél karbonlábnyomáról és mechanikai viselkedéséről, ezáltal választ adva arra a kérdésre, vajon valóban előnyösebb alternatívát jelenthet-e a jelenlegi gyakorlatban alkalmazott acélhoz képest mind gazdasági, mind környezetvédelmi szempontból.

Nagy Botond Előd

Építőmérnöki Kar

Hidak és Szerkezetek Tanszék

Hidak gyalogosdinamikai viselkedésének elemzése

A dolgozat a gyalogoshidak gyalogosforgalomból származó dinamikai terhelés alatti viselkedésének vizsgálatával foglalkozik. A kutatás célja annak feltárása, hogy a gyalogosdinamikai ellenőrzések során alkalmazott nemzetközi ajánlások és szabványi előírások milyen módszertani eltéréseket mutatnak.

A vizsgálat első része a gyalogosforgalom által keltett rezgések értékelésére szolgáló fontosabb nemzetközi dokumentumok és szabványok elemzésére, valamint kritikus összehasonlítására irányul. Ennek keretében bemutatásra kerül a Sétra Assessment of vibrational behaviour of footbridges under pedestrian loading című ajánlása, a Joint Research Centre Design of Lightweight Footbridges for Human Induced Vibrations című kutatása, az Eurocode 1 2. részének brit nemzeti melléklete (NA to BS EN 1991-2:2003), továbbá a második generációs Eurocode vonatkozó előírásrendszere (EN 1991-2:2023). Az összehasonlító elemzés kiterjed az egyes irányelvek forgalmi osztályaira, komfortkritériumaira, terhelési modelljeire, valamint a csökkentő tényezőkre, a frekvenciatartományok és a gyorsulási határértékek eltéréseire. Az eredmények rámutatnak arra, hogy a részletszabályok közötti különbségek ellenére a vizsgált dokumentumok koncepcionálisan egységes szemléletet követnek.

A kutatás második szakaszában idealizált szerkezeti modelleken történik a szabványos gerjesztések numerikus vizsgálata. Egy kéttámaszú gerendamodel, valamint egy gerendahíd rúdmodelljének felhasználásával összevethetők az egyes szabványok szerinti terhelési modellekből származó szerkezeti válaszok. Az elemzés kitér az akaratlagos gerjesztések szerkezeti hatásaira és az ezekhez kapcsolódó módszertani hiányosságokra is. A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált ajánlások és szabványok a szerkezeti válasz szempontjából a legérzékenyebb frekvenciatartományban lényegében hasonló eredményre vezetnek; az eltérések elsődlegesen a csillapítást figyelembe vevő csökkentő tényezők meghatározásából adódnak.

A harmadik részben a kidolgozott vizsgálati szemlélet alkalmazására a sátoraljaújhelyi Nemzeti Összetartozás Hídja esetében kerül sor. A vizsgálat kiterjed a gyalogosáramlásból származó dinamikai hatások, valamint az akaratlagos gerjesztések vizsgálatára. A különleges szerkezeti kialakítás rámutat arra, hogy a vandáljellegű gerjesztések nem kizárólag a hagyományosan vizsgált tartományokban lehetnek meghatározók, hanem attól eltérő frekvenciatartományokban is számottevő szerkezeti választ idézhetnek elő. Az elvégzett elemzések összességében rávilágítanak a gyalogosdinamikai vizsgálatok kulcsfontosságú paramétereire és megbízható mérnöki alapot szolgáltatnak a gyalogoshidak rezgési komfortjának értékeléséhez.

Decsi Bence

Építőmérnöki Kar

Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

Partmenti sávok környezeti tényezőinek, tájhasználatának, ökoszisztéma szolgáltatásainak elemzése a Duna vízgyűjtőn

Európában az édesvízi élőhelyeket az elmúlt évszázadban egyszerre formálták az éghajlati- és földhasználati változások, valamint a változó társadalmi-gazdasági elvárások/nyomások és gazdálkodási formák. Kutatásom során a Duna vízgyűjtő vízfolyásainak partmenti területein végeztem komplex elemzést. Ezen területek ökológiai szempontból kulcsterületek, mivel a partmenti élőhelyek meghatározó szerepet töltenek be a szárazföldi és édesvízi rendszerek közötti anyag- és energiaáramlás szabályozásában. Napjainkban területhasználatukat döntően az intenzív mezőgazdasági művelés jellemzi, ami csökkent a természetes szűrő- és pufferkapacitásukat. Kutatásom célja, hogy (1) a felszíni- és felszín alatti vizek kapcsolatának figyelembevételével létrehozzak egy térbeli lehatárolási módszert, majd (2) feltárjam az így lehatárolt partmenti sávok környezeti adottságait és tájhasználati mintázatait, (3) elemezzem ezen tényezők felszíni vízminőségre és az édesvízi ökoszisztéma-szolgáltatások potenciáljára gyakorolt együttes hatását, végül (4) módszertani alapot adjak a potenciális beavatkozási és helyreállítási célterületek lehatárolásához.

A Duna vízgyűjtőjére kiterjedő, több ország adatait integráló adatbázist építettem talajvízszint idősorok, valamint tájhasználati és biomaszaprodukciós térbeli adatok felhasználásával. A felszíni- és felszín alatti vizek kapcsolatának intenzitását elemeztem, amelyet a vízfolyásoktól mért távolság függvényében számszerűsítettem és eszerint határoztam meg a partmenti sávok vízfolyások tengelyétől vett kritikus szélességét. Az elemzés során értékeltem, hogy a partmenti sávokon belüli tájhasználati mintázatok milyen kapcsolatban állnak a víztestek ökológiai állapotával és biomsza produktívásával. A Duna vízgyűjtőjét több mint ezer részvízgyűjtőjére főkomponens analízissel és klaszterelemzéssel feltártam az édesvízi rendszereket alakító környezeti és társadalmi-gazdasági tényezők együttes, gyakran nemlineáris kölcsönhatásait.

Kutatásom eredményeként egy hidrológiai szempontból megalapozott, térinformatikai alapú lehatárolási módszert dolgoztam ki a partmenti sávok meghatározására. Azonosítottam a tájhasználati konfliktussal terhelt részvízgyűjtőket, melyek esetén az aktuális tájhasználat a jó ökológiai állapot elérését gátolja, nehezíti. Emellett a gyenge ökológiai állapot és vízminőség elsősorban emberi hatásokhoz köthető. A klaszterelemzés eredményeként olyan vízgyűjtőtípusokat határoztam meg, amelyekben az ökológiai állapotot meghatározó domináns tényezők egyértelműen elkülöníthetők. Az eredmények hozzájárulhatnak a vízminőség javítását és az ökoszisztéma-szolgáltatások erősítését célzó potenciális vizes élőhely rehabilitációs beavatkozások területi prioritizálásához, valamint megalapozhatják a tájhasználati döntéshozatalt a Duna vízgyűjtőjén és más, hasonló adottságú régiókban.

Illés Zsombor

Építőmérnöki Kar

Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

Árvízvédelmi töltés vízháztartás vizsgálata

Az árvízvédelmi töltések biztonsága és hosszú távú állékonysága a klímaváltozás hatására egyre összetettebb mérnöki kihívássá válik a Kárpát-medencében. Az elmúlt évtizedekben tapasztalt éghajlati szélsőségek - különösen az elhúzódó aszályos időszakok és az intenzív csapadékesemények - jelentősen befolyásolják az árvízvédelmi töltésekben található kötött talajok hidromechanikai viselkedését. Magyarország nagy folyói mentén a töltések döntően közepes és kővér agyagokból épültek, amelyek különösen érzékenyek a talajnedvesség változására, a zsugorodásra és a repedésképződésre. Mindezek ellenére a hagyományos geotechnikai tervezési és értékelési módszerek jellemzően telített talajállapotot feltételeznek, miközben a töltések az idő nagy részében telítetlen állapotban vannak.

A kutatás célja egy árvízvédelmi töltés vízháztartási és hidromechanikai viselkedésének komplex vizsgálata helyszíni mérésekre és numerikus backanalízisre támaszkodva. A vizsgálat alapját a Szolnok térségében, a Tisza árvízvédelmi töltésén kiépített Dobai töltésmonitoring rendszer adatai adják, amely összesen 17 mérési ponton, talajnedvesség- és vízpotenciál-szenzorok segítségével szolgáltat folyamatos adatokat a talaj víztartalmáról és kapilláris viszonyairól. Ez a rendszer egyedülálló lehetőséget biztosít a telítetlen talajmechanikai folyamatok in situ vizsgálatára.

A kutatás első szakaszában a töltésben mért talajnedvesség idősorok statisztikai elemzése és összehasonlítása történik a környező aszálymonitoring állomások adataival. A vizsgálat célja annak feltárása, hogy a töltés, mint mesterségesen kiemelt földszerkezet miként reagál azonos meteorológiai terhelésekre a környező természetes talajfelszínekhez képest.

A kutatás második fő pillérét a helyszíni mérésekre alapozott numerikus backanalízis képezi. Ennek során a töltés telített és telítetlen hidraulikai paraméterei laboratóriumi vizsgálatok és a talaj víztartási görbéjének segítségével kerülnek meghatározásra. A telítetlen állapot leírásához a Van Genuchten-modell paraméterei szolgálnak alapul. A hidromechanikai viselkedés vizsgálata kapcsolt áramlás-alakváltozás végelelemes modellben, a PLAXIS 2D szoftver alkalmazásával történik. A modell validálása a helyszíni vízpotenciál-mérések és a numerikus eredmények összevetésével valósul meg.

A kalibrált numerikus modell lehetővé teszi reális árvízi és aszályos forgatókönyvek elemzését, valamint a töltések repedésképződésének és stabilitási állapotának értékelését. A kutatás eredményei hozzájárulhatnak a hazai árvízvédelmi töltések állapotértékelési és fenntartási gyakorlatának fejlesztéséhez, valamint a klímaváltozáshoz való alkalmazkodást támogató mérnöki megoldások kidolgozásához.

Kardos Máté Krisztián

Építőmérnöki Kar

Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

Development of a methodology for calculating emission factors for modeling the release of micropollutants

Development of a Methodology for Calculating Emission Factors for Modeling the Release of Micropollutants Emission models are essential tools for establishing micropollutant balances and evaluating future management scenarios in river basins, where municipal wastewater treatment plants (WWTPs) represent key emission pathways. Current approaches typically estimate emissions by combining emission factors-expressed as concentrations or per capita loads-with discharge volumes or connected population data. However, the derivation of robust and transferable emission factors remains a methodological challenge due to spatial variability and data limitations.

This study presents a structured framework for deriving WWTP emission factors at the scale of large river basins. The methodology evaluates three hierarchical levels of differentiation: (i) regional variability reflecting socioeconomic conditions, consumption patterns, and regulatory differences; (ii) treatment technology; and (iii) plant size categories. To ensure statistical robustness without assuming predefined data distributions, nonparametric methods, including the Kruskal-Wallis H-test and PERMANOVA, were applied.

The framework was tested using an international dataset covering PFOS, PFOA, Carbamazepine, and Diclofenac concentrations from WWTPs across 12 countries of the Danube River Basin. Results showed that, for PFAS compounds, neither influent-effluent differences nor treatment stages had a significant effect on concentrations, allowing data pooling across these categories. However, significant differences were observed between countries, highlighting regional influences. For PFOA, strong correlations between concentration statistics and national GDP enabled extrapolation to data-scarce regions. PFOS exhibited regional patterns as well, though with weaker economic correlation.

Plant size emerged as the most influential factor across substances. Concentrations generally increased with plant capacity, with statistically significant differences between most size classes. Treatment technology showed limited influence, with only tertiary treatment occasionally differing from lower treatment levels. For pharmaceuticals, particularly Carbamazepine, elevated concentrations were observed in specific countries, indicating localized effects beyond technological factors.

Overall, the results demonstrate that regionality, followed by plant size is the dominant determinant for emission factor differentiation, while treatment-related effects play secondary roles. The proposed framework provides a flexible, statistically sound basis for emission modeling, while highlighting the need for further investigation into additional influencing factors such as sampling methodologies and data completeness.

The research was supported by the NRD University Research Scholarship Program, Grant Nr. BME-EKÖP-2-4-II-BME-128

ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR II.

Petresevic Fanni

Építőmérnöki Kar

Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Történelmi épületszerkezetek higrotermikus elemzése

A kutatás célja a XIX-XX. században elterjedt, hagyományos fal-födém csomópontok higrotermikus viselkedésének számszerű vizsgálata, különös tekintettel a kapcsolt hő- és nedvességtranszportot leíró numerikus modellek alkalmazhatóságára és megbízhatóságára. A munka középpontjában a csomóponti hőveszteségek és belső felületi hőmérsékletek meghatározására szolgáló különböző számítási megközelítések (állandósult-állapotbéli hőtechnikai, higrotermikus, valamint Künz-elmodellen alapuló egyszerűsített, egyéves időtartamra futtatott dinamikus hőtechnikai és higrotermikus szimulációk) összehasonlító elemzése áll energetikai és állagvédelmi szempontok figyelembevételére alapján.

A numerikus modellezés alapját részletes laboratóriumi anyagvizsgálatok képezik. A vizsgálatok során hagyományos, tömör Osztrák-Magyar Monarchia területéről származó falazótégla hővezetési tényezőjét, fajlagos hőkapacitását és hődiffúzitását módosított tranziens síkforrás (MTPS) módszerrel határoztam meg, kontrollált nedvességtartalom mellett. A nedvesség kapacitást adszorpció és deszorpció izoterma vizsgálatokkal jellemeztem az MSZ EN ISO 12571:2022 szabvány szerint. A páradiffúziós ellenállási számot az EN ISO 12572:2016 szabvány alapján, dry-cup és wet-cup elrendezésben határoztam meg. A kapilláris vízfelvételt az MSZ EN ISO 15148:2002 szabvány szerint vizsgáltam, míg a pórusszerkezetet és az anyagösszetételt SEM-EDS elemzésekkel jellemeztem. A teljes relatív páratartalom-tartományt lefedő víztartási görbe mérése jelenleg is folyamatban van, amely a dinamikus higrotermikus szimulációk teljes RH-tartományra kiterjedő alkalmazásához elengedhetetlen. A mért anyagparaméterek korábbi kutatásomban 3D állandósult állapotbéli hőtechnikai és kapcsolt hő- és nedvességtranszport szimulációkba kerültek beépítésre különböző történelmi födém típusok (Poroszsüveg, Monier-, Horcsik- és Bohn-födémek) falcsatlakozásainál, az MSZ EN ISO 10211:2017 és az MSZ EN 15026:2023 szabványok alapján.

A jelen kutatás ezen eredményeket bővíti ki a meglévő állandósult állapotbéli hőtechnikai és higrotermikus csomóponti számítások, valamint a számítási kapacitásbeli korlátok miatt 2D-re egyszerűsített, egyéves időtartamra futtatott dinamikus hőtechnikai és higrotermikus szimulációk összevetésével, korlátozott relatív páratartalom-tartományban. A dinamikus szimulációk lehetővé teszik a hőtárolási és nedvességtárolási folyamatok figyelembevételét és feltárják, hogy ezek milyen mértékben befolyásolják a csomóponti hőveszteséget és a belső felületi hőmérsékleteket az állandósult állapotú megközelítésekhez képest. Az előzetes eredmények azt mutatják, hogy a dinamikus szimulációkból származó hőveszteségek és kockázati mutatók szisztematikusan eltérnek mind az állandósult állapotbéli hőtechnikai, mind az állandósult állapotbéli higrotermikus számítások eredményeitől, ami közvetlen hatással van a történelmi épületszerkezetek energetikai és állagvédelmi értékelésére.

Hatalyák Martin

Építőmérnöki Kar

Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

Mélykeverés hazai talajokkal való alkalmazásának és az erre épülő alapozások méretezési eljárásának vizsgálata

A kutatás célja a mélykeveréses (Deep Soil Mixing - DSM) talajjavítási technológia hazai alkalmazhatóságának vizsgálata, valamint az erre épülő alapozások méretezési eljárásainak elemzése. A DSM-módszer lényege, hogy gyenge teherbírású talajrétegek teherbírását és alakváltozási tulajdonságait cement- vagy más kötőanyag talajba juttatásával és mechanikus összekeverésével javítjuk. Az eljárás során egy speciális keverőberendezés segítségével a talaj helyben kerül átdolgozásra, így létrejön egy cementált, megerősített talajtömb, amely képes alapozások, töltések, rézsűk vagy más létesítmények stabilitásának növelésére. A technológia eredete Svédországra és Japánra vezethető vissza, ahol az 1970-es évektől kezdve fejlesztették ki és alkalmazták a gyenge altalajok építési célú megerősítésére. Az elmúlt évtizedekben a DSM széles körben elterjedt eljárássá vált Európa-szerte és a tengerentúlon, elsősorban ott, ahol a nagy vastagságú puha agyagrétegek, tőzeges területek vagy vízzel telített, alacsony teherbírású talajok korlátozták a hagyományos alapozási megoldások gazdaságos alkalmazását.

Magyarországon a mélykeverés még nem tekinthető széles körben alkalmazott technológiának. Bár az ország geológiai viszonyai - különösen az Alföldön és más síkvidéki régiókban - kedveznének a DSM-módszer gazdaságos és hatékony bevezetésének, a gyakorlati alkalmazást több tényező is korlátozza. A legjelentősebb kihívást a szabványosított tervezési irányelvek hiánya, a paraméter-meghatározás bizonytalansága és a kísérleti tapasztalatok korlátozott volta jelenti. A hazai mérnöki gyakorlatban emiatt a mélykeverés még nem számít rutinszerűen bevezethető technológiának, jóllehet a nemzetközi tapasztalatok alapján képes lenne gazdaságos és fenntartható alternatívát nyújtani gyenge altalajú területeken történő építkezések esetében.

A doktori kutatás fő célja, hogy feltárja a DSM technológia adaptálhatóságát magyarországi talajviszonyokra és hozzájáruljon egy olyan tervezési módszertan kidolgozásához, amely figyelembe veszi a hazai talajtípusok - főleg lösz talajok - sajátosságait. A kutatás során különbözőmeszes cement tartalmú kötőanyagokkal végzett laboratóriumikísérletek, valamint végeselem modellezések segítségével kerül meghatározásra a DSM-oszlopok szilárdsági és alakváltozási paramétereinek jellemző tartománya.

A kutatás egyik fontos eleme a nemzetközi tapasztalatok integrálása. Ennek keretében fél évet fogok tölteni Svédországban, ahol lehetőségem nyílik terepen dolgozni DSM technológiával és részt venni laborvizsgálatokban. Ezek az eredmények egyrészt hozzájárulnak a hazai vizsgálatok módszertani megalapozásához, másrészt lehetőséget nyújtanak a svéd tervezési elvek és a magyar talajviszonyok közötti korrelációk feltérképezésére. A kutatás célja olyan tapasztalati alapú megállapítások és ajánlások megfogalmazása, amelyek iránymutatásul szolgálhatnak a DSM-technológia hazai alkalmazásához és hozzájárulhatnak a mélyépítési gyakorlat fejlődéséhez.

Horváth András

Építőmérnöki Kar

Hidak és Szerkezetek Tanszék

Hegesztéstechnológia figyelembevétele lemezes acélszerkezetek méretezésénél

Az elmúlt években a szerkezeti acélok és a hegesztéstechnológiai eljárások jelentős fejlődésen mentek keresztül, ami érdemben befolyásolja a hegesztett acélszerkezetek viselkedését. Ugyanakkor a jelenleg alkalmazott európai szabványi környezet nem különíti el a különböző hegesztési technológiákból eredő geometriai imperfekciók és sajátfeszültségek hatását lemezes szerkezetek esetén, holott ez a teherbírás meghatározásában méretezésméleti szempontból kulcskérdés. A gyártási imperfekciók közvetlen, megbízható figyelembevétele a tervezés során gazdaságosabb szerkezetek kialakítását tenné lehetővé. Emellett a gyártás oldalán is előnyt jelent az imperfekciók - különösen a hegesztésből származó torzulások - pontosabb ismerete, amely analitikus közelítésekkel vagy numerikus szimulációkkal támogatható. A numerikus szimuláció a hegesztett acélszerkezetek sajátfeszültség-eloszlásának vizsgálatában kiemelt szerepet tölt be: rugalmasan paramétereizhető keretet biztosít, ahol a hegesztés során kialakuló sajátfeszültségek sztochasztikus és probabilsztikus alapon is elemezhetők. Az így nyert eredmények közvetlenül hasznosíthatók sajátfeszültségmodellek fejlesztésére és validálására. A kutatás fókuszában zártszelvények állnak, amelyek kísérleti és numerikus vizsgálata normál- és nagy szilárdságú, valamint hibrid kialakítások esetén történik, a domináns technológiai paraméterek hatásának feltárásával.

Pap Tibor

Építőmérnöki Kar

Hidak és Szerkezetek Tanszék

Acél trapézlemez-gerincű öszvér tartók integrált nyírási viselkedésének vizsgálata

Az acél trapézlemez régóta széles körben alkalmazott szerkezeti elem az építőmérnöki gyakorlatban. Az elmúlt évtizedben azonban alkalmazása a tisztán acél és öszvér magas- és hídépítés területén is előtérbe került trapézlemez-gerincű tartókban. A konzervatív nemzetközi tervezői gyakorlat követi a meglévő nemzetközi szakirodalom és szabványok ajánlásait, melyek szerint a teljes keresztmetszet nyírási teherbírása a trapézlemez-gerinc nyírási teherbírásával vehető figyelembe. A normálszilárdságú acél trapézlemez-gerincű tartók esetén ennek a feltételezésnek a helyessége igazolt, ugyanakkor a teherbírás meghatározására kidolgozott jelenlegi szabványos méretezési eljárás pontatlan és kis gerincvastagságok esetében igazoltan a biztonság kárára téved. Nagyszilárdságú acél felhasználásával kombinált és/vagy (feszített) vasbeton övlemezek esetében a szakirodalmi vizsgálatok száma kevés és méretezési eljárások sem állnak kellő számban rendelkezésre. A nemzetközi szakirodalmi terminológia ezeket a szerkezeti kialakításokat „hibrid” szerkezetnek nevezi.

Az eddig elvégzett kísérleti és számítógépes virtuális modelleken alapuló vizsgálatok azt mutatják, hogy a normálszilárdságú acéltól eltérő övlemezek hozzájárulása számottevő a teljes keresztmetszet kezdeti nyírási merevségéhez és teherbírásához, a trapézlemez-gerinc horpadási módjához és a horpadást követő posztkritikus viselkedéshez. A téma célkitűzése, hogy a viselkedés megértésén keresztül méretezési módszereket dolgozzon ki az integrált nyírási teherbírás meghatározására. A kidolgozott méretezési módszernek ki kell terjedjen a jelenlegi tervezési gyakorlatban alkalmazott analitikus modelleken alapuló kézi számítási eljárásokra és a fejlett számítógépi virtuális modelleken alapuló eljárásokra, melyek végrehajtásához további vizsgálatokra és segédmennyiségek kidolgozására van szükség.

Vasbeton övű trapézlemez-gerincű öszvér tartó előzetes integrált nyírási teherbírás meghatározás nyomaték és nyíróerő együttes hatására, előzetes méretezési eljárás kidolgozása. A kidolgozott méretezési módszernek ki kell terjedjen a jelenlegi tervezési gyakorlatban alkalmazott analitikus modelleken alapuló kézi számítási eljárásokra és a fejlett számítógépi virtuális modelleken alapuló eljárásokra, melyek végrehajtásához további vizsgálatokra és segédmennyiségek kidolgozására van szükség, annak érdekében, hogy megbízható ajánlást dolgozzak ki.

Rosa Richárd Joao

Építőmérnöki Kar

Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

Feszített kötél- és ponyvaszerkezetek optimális tervezése

Előfeszített szerkezetek tervezése a gyakorlatban hagyományosan alkalmazott tervezési eljárással nem, vagy csak részben hajtható végre, különösen a stabilitásvizsgálat esetén. A hagyományos mérnöki (lineáris) stabilitásvizsgálatban feltételezzük, hogy a szerkezetek kezdeti merevségi mátrixa reguláris, ami azonban nem minden esetben teljesül. Továbbá a hagyományos felírásában alkalmazott elkülönítés rugalmas (elsőrendű) és geometriai (másodrendű) merevségi mátrixokra sem helytálló, ugyanis előfeszített állapotban a sajátfeszültség-rendszerből bizonyos kezdeti geometriai merevség is fellép. Ez rendszerint egy állandó hatás, így ennek skálázása sem célravezető, jelentősen eltérő sajátalakokat és sajátértékeket eredményez. Utolsó problémaként megemlítendő a kezdeti geometriai imperfekciók alkalmazásának nehézsége is: a hagyományos megközelítés szerint alkalmazva ezeket részben (vagy akár egészben) megváltoztatja/csökkenti a kezdeti előfeszítés.

Az előbbi problémákat egy Geiger-féle kábelkupola stabilitásvizsgálatával szemléltetjük. A szerkezet speciális geometriája miatt előfeszítetlen állapotban nem alaktartó, statikailag és kinematikailag is határozatlan. Emiatt a szakirodalom előfeszített mechanizmusként ismeri. Tensegrity-szerkezetként ugyan stabilitásvesztés jelensége nem tipikus, ugyanakkor a speciális topológia miatt egyedi, globális stabilitásvesztés jöhet létre. Jelen kutatás ennek a vizsgálatával foglalkozik, mely egy vizsgálati keretrendszert kíván nyújtani geometriailag nemlineáris, előfeszített szerkezetek stabilitásvizsgálatára. Ehhez egy módosított lineáris stabilitásvizsgálati sajátértékfeladatot, illetve módosított imperfekciós módszert alkalmazunk.

Molnár Sára

Építőmérnöki Kar

Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Hordalékgazdálkodási módszerek vizsgálata a folyóhelyreállítás érdekében

A Duna vízgyűjtőjén végzett doktori kutatásom központi kérdése, hogy a folyószabályozások és duzzasztóművek által okozott hordalékhiány miként alakítja át a folyók hidromorfológiáját, medermélységét és ökológiai funkcióit. A kutatás vízgyűjtő-léptékű értékelésekre, helyi esettanulmányokra és a társadalmi bevonásra épül.

A Free-Flowing Rivers (FFR) módszertan alkalmazásával a teljes Duna-vízgyűjtő >4000 km² részvízgyűjtőjű vízfolyásain vizsgáltam a hosszanti, laterális és vertikális kapcsolságot. A homogén szakaszokra bontott folyóhálózaton automatizált GIS-eljárással értékeltem a gátak, partbiztosítások és töltések hatását, valamint a felvízi hordalékcsapdázás mértékét. A laterális kapcsolság kritériumai alapján a folyóhossz mintegy 70%-a minősíthető megfelelőnek, míg a hosszanti átjárhatóság esetében az arány alacsonyabb. Az összes kritérium együttes teljesítését vizsgálva a Duna-vízgyűjtő elemzett szakaszainak mindössze körülbelül 8%-a felel meg a szabadon áramló folyók feltételeinek. Az eredmények rámutatnak az EU 2030-as célkitűzésének - 25000 km szabadon áramló folyó helyreállítása - kihívásaira, valamint a hordalékgazdálkodás nemzetközi összehangolásának szükségességére.

A JDS5-HYMO protokoll segítségével kilenc magyarországi folyószakaszon (nyolc a Dunán, egy a Tiszán) végeztem részletes hidromorfológiai értékelést. A hierarchikus módszertan vízgyűjtői, szakasz- és helyi léptéken vizsgálja a hidrológiai és hordalékszállítási nyomásokat, az antropogén beavatkozásokat, valamint a meder- és partmorfológia állapotát. Az antropogén nyomások átlagosan 3-4 pontot, a hordaléktranszport romlása 3,9-4,7 pontot mutatott az ötfokozatú skálán, míg az ártéri növényzet, a mederforma és az aktív árterület pontszámai számos helyen a folyó-ártér kapcsolat jelentős korlátozottságát jelzik. Az összes vizsgált szakaszra jellemző, hogy a felvízi hordalékcsapdázás okozta hordalékhiány medermélyüléshez, ártér-leváláshoz és élőhelyvesztéshez vezet.

A medermélyülés ütemét és okait 75-150 éves kisvízszint-idősorok elemzésével vizsgáltam, melyeket ismételt mederfelmérésekkel validáltam. A magyar Duna szakaszon az átlagos medersüllyedés 1-2 cm/év, helyenként több méteres összesített mélyüléssel, miközben a kisvízhozamok nem mutatnak érdemi változást. A kisvízszintek trendje szoros (R^2 akár 0,9-et közelítő) kapcsolatot mutat a medermélység változásával, igazolva a módszer alkalmazhatóságát adathiányos területeken is.

A kutatást egy ifjúsági kérdőív egészíti ki, ami a Duna-régió 18-35 éves korosztályú fiatalságának tudását, attitűdjeit és motivációit méri fel folyóink állapotával, helyreállításával kapcsolatban. A munka így a hordalékgazdálkodás műszaki-ökológiai kérdéseit társadalmi dimenzióval kapcsolja össze, megalapozva a hosszú távon is fenntartható folyórehabilitációs beavatkozásokat.

Márton Attiláné Virág Katinka

Építőmérnöki Kar

Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

Felszíni vízminőség tér- és időbeli mintázatának elemzése terepi és laboratóriumi mérési módszerek és a numerikus modellek integrált alkalmazásával

A kutatás célja a valós idejű in-situ szenzorok vízminőség-monitoring területén való alkalmazhatóságának vizsgálata, különös tekintettel a gyakorlati korlátokra és kihívásokra. A munka első szakaszában az elméleti megalapozás keretében rendszerezésre kerültek a különböző szenzortípusok - optikai (fényszórás, fényelnyelés), elektrokémiai (pH, oldott oxigén, vezetőképesség) és ionszelektív - mérési elvei. A nemzetközi szakirodalom alapján feltárásra kerültek az alkalmazhatósági korlátok, a mérési pontosságot befolyásoló tényezők, valamint a mátrixhatások és zavaró hatások. A kutatás kiterjedt a terepi alkalmazhatóságot befolyásoló fizikai és kémiai paraméterek összegyűjtésére, valamint a mérési időköz optimalizálásának elméleti hátterére, beleértve a mintavételezési elméletet, az autokorrelációt és a Nyquist-elvet. Hazai felszíni vízfolyáson végzett monitoring tevékenység példáján keresztül bemutatásra kerülnek a szenzortechnológia gyakorlati kihívásai és az ökológiai folyamatok figyelembevételének jelentősége. Az eredmények rámutatnak arra, hogy a hatékony vízminőség-monitoring tudatos tervezést és kritikus technológiai szemléletet igényel, hozzájárulva ezzel a hazai monitoring gyakorlat fejlesztéséhez.

ÉPÍTŐMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK

Druga Richárd

Építőmérnöki Kar

Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Alépítmények és falazatok hatékony vízszigetelési megoldásai az anyagtulajdonságok függvényében

A rugalmas, polimerrel módosított cementbázisú bevonatszigetelések repedésáthidaló-képessége alapvető jelentőségű lehet az épületszerkezetek tartóssága szempontjából, ugyanakkor a jelenlegi szabványos vizsgálatok számos gyakorlati és értelmezési korláttal bírnak. A kutatás célja egy egyszerűbb, jól reprodukálható vizsgálati módszer kidolgozása volt, valamint annak feltárása, hogy a kivitelezési és környezeti tényezők miként befolyásolják a bevonatok repedésáthidaló viselkedését. A kísérleti program magában foglalta a szélsőséges kötési hőmérséklet hatásának elemzését, az erősítő betétek (üvegszövet háló és nem szőtt polipropilén textília) alkalmazásának vizsgálatát, a keverési hibák modellezését, a repedésnyílási sebesség szerepének értékelését, valamint a repedésáthidaló-képesség tartósságának vizsgálatát termikus fárasztás mellett. Az eredmények alapján a szélsőséges kötési hőmérséklet önmagában általában nem okozott számottevő azonnali teljesítménycsökkenést, ugyanakkor felületi károsodások kialakulását előidézhette. A nem szőtt textil erősítés jelentős mértékben növelte a repedésáthidaló-képességet, míg az üvegszövet háló hatása mérsékeltebbnek bizonyult és egyes esetekben kedvezőtlen irányú változást is eredményezett. A nem megfelelő keverési idő egyértelműen rontotta a teljesítményt és növelte a mérési szórást. A termikus fárasztással kombinált tartóssági vizsgálatok kimutatták, hogy a hosszú távon fenntartható repedésáthidaló-képesség jellemzően a deklarált érték mintegy felére korlátozódik. Az eredmények hozzájárulnak a bevonatszigetelések megbízhatóbb teljesítményértékeléséhez, valamint a vizsgálati módszerek továbbfejlesztéséhez az építőmérnöki gyakorlat számára.

Szatmári Levente

Építőmérnöki Kar

Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Történeti épületek felújításának és üzemeltetésének BIM alapú többcélú optimalizálása az energiafogyasztás, az életciklusköltség, a beltéri komfort és a környezeti hatások figyelembevételével

A BME történeti campusán található oktatási épületek nem elégítik ki a jelen kor igényeit energiahatékonysági- és felhasználói komfort szempontjából. Ahhoz, hogy hosszú távon fenntartható, energiahatékony épületekben folyhasson az oktatói és kutatói munka, fel kell térképeznünk a lehetőségeinket az épített értékek megőrzését biztosító hosszútávú üzemeltetési- és felújítási lehetőségek tekintetében.

Kutatásom első lépésében jelenlegi állapotukban vizsgálom a történeti campus kiválasztott épületeit. Helyszíni légállapot méréseken keresztül megpróbálom megérteni a sok esetben kiegyenlítetlen teljesítménnyel üzemelő gépészeti rendszerek működését és legfőbb problémáit, illetve a mérési eredmények elemzésén keresztül igyekszem megállapítani a monitorozott helyiségek foglaltsági mintáit, hogy ezeket felhasználva kalibrált energetikai és komfort szimulációkat futtathassak a vizsgált épületekre.

A kutatás jelenlegi legfőbb fő eredménye a „Historical Digital Twin” (HDT) keretrendszer sikeres adaptálása a BME F épületében, amely egy egyedi LoRaWAN hálózat segítségével hatékonyan monitorozza a történeti épület belső légállapotát. A 2025 szeptembere és 2026 januárja közötti mérések súlyos belső környezeti minőségi (IEQ) hiányosságokat tártak fel: míg az alagsorban 66,4%-os volt a komfortarány, a második emeleten ez 29,9%-ra zuhant. A rendszer azonosította a fűtési hálózat rendszerszintű hibáit, például az I. szárny egyik hibás termosztatikus szelepét és validálta a penészedési kockázatot becslő modellt. Kimutattam a „fűtési paradoxont”, ahol a legfelső emelet egyszerre volt kitéve a legsúlyosabb túlmelegedésnek és alulfűtöttségnek.

Mindezen információkat felhasználva elkezdődik az optimalizációs és modellezési feladatrészen foglaltak szerinti felújítási és üzemeltetési stratégiák kidolgozása a helyszíni mérésekkel kalibrált modelleken keresztül, illetve a kidolgozásra kerülő módszertan alkalmazása a történeti campus többi épületére.

Tantawi Mokhtar

Építőmérnöki Kar

Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Mechanical and Long-Term Behavior of CLT-Concrete Composite Slabs

The growing demand for sustainable structural systems has accelerated the use of cross-laminated timber (CLT) in multi-storey buildings; however, the serviceability performance of standalone CLT slabs is often governed by excessive deflections and vibration sensitivity at medium to long spans. Timber-concrete composite (TCC) slabs offer an effective solution by combining the tensile capacity and low environmental impact of CLT with the compressive stiffness and mass of concrete. Despite their advantages, the structural behaviour of TCC slabs, particularly the influence of connection stiffness and long-term effects, remains insufficiently addressed by existing simplified design methods.

This research presents a comprehensive numerical investigation of the mechanical behaviour of TCC slabs, with emphasis on both short-term and long-term performance. A two-layer finite element model based on Mindlin plate theory is developed, in which the CLT and concrete layers are coupled via interface spring elements representing the slip stiffness of shear connectors. The model is used to conduct extensive parametric studies across a wide range of slab geometries, connection stiffnesses, and time-dependent material properties.

The short-term analyses demonstrate that composite slab deflections are highly sensitive to connector slip stiffness within a critical range of approximately 10^4 – 10^6 kN·m⁻¹·m⁻², beyond which either full or negligible composite action is achieved. Practical upper and lower stiffness thresholds are identified, providing rational guidance for connector design. For long-term behaviour, the effects of concrete shrinkage, concrete creep, timber creep, and connection efficiency are systematically isolated over a 50-year service life. The results consistently identify concrete shrinkage as the dominant contributor to long-term deflection, capable of increasing total deflections by more than 20% under typical indoor conditions, while concrete and timber creep play important, but secondary roles.

A key outcome of the study is the identification of a clear relationship between shrinkage-induced deflections and the distance between the concrete centroid and the composite neutral axis, highlighting geometry as a primary design lever. The findings lead to practical design recommendations, including prioritizing low-shrinkage concrete and optimizing layer proportions to balance stiffness gains against long-term deformation. Overall, the research supports the reliable and efficient design of CLT-concrete composite slabs and contributes to their broader application in sustainable construction.

Baranyai Dániel

Építőmérnöki Kar

Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék

Pontfelhőből származó panorámaképek feldolgozása gépi látás segítségével

A modern lézerszkennelési (LiDAR) eljárások során hatalmas mennyiségű pontfelhőadat keletkezik, amelyek hatékony feldolgozása és szegmentálása napjaink mérnöki gyakorlatának egyik komoly kihívása. A mérések során a térbeli koordináták mellett gyakran rendelkezésre állnak képi reprezentációk is, például intenzitás-, távolságalapú (depth map), illetve színezett (RGB) panorámaképek. A kutatás célja ezen képi adatokban rejlő többletinformációk feltárása és kiaknázása, majd az itt elvégzett elemzések eredményeinek visszavetítése a pontfelhőre.

A kutatás megvalósítása során a hangsúly a klasszikus képfeldolgozási módszerek vizsgálatáról a mesterséges intelligencia (AI) és a gépi tanulás nyújtotta megoldásokra helyeződött át. Míg a panorámaképekre jellemző vetületi torzítások kezelését megfelelő matematikai projekciók alkalmazásával oldottam meg, az AI technológiák bevonását az indokolta, hogy ezek a hagyományos eljárásokkal szemben lényegesen több és robusztusabb lehetőséget kínálnak a képfeldolgozás terén. Alkalmazásuk kiemelkedő előnyt jelent a komplex objektumkeresési és precíz szegmentálási feladatok végrehajtásában.

A kutatómunka egyik legfőbb gyakorlati eredménye egy egyedi, interaktív vizuális szoftveres eszköz kifejlesztése. A szoftver grafikus felülete lehetővé teszi a nyers mérési adatok - a pontfelhő és a hozzá tartozó panorámaképek - együttes megjelenítését. A program moduláris felépítésének köszönhetően a felhasználók egyszerűen cserélhetik a különböző AI-alapú szegmentációs és feldolgozó modelleket. Ez a kialakítás nemcsak az egyes algoritmusok teljesítményének vizuális és adatalapú összevetését teszi lehetővé, hanem hatékony segítséget nyújt a pontfelhők képi alapú feldolgozására leginkább alkalmas AI munkafolyamat (pipeline) feltárásában és optimalizálásában.

A kifejlesztett eljárásokat és a szoftvert elsősorban közúti és infrastrukturális elemek (pl. útburkolati jelek, táblák) feldolgozásán teszteltem, ahol a különböző képtípusok (RGB és intenzitás) kombinált elemzése jelentősen javította a szegmentálhatóságot. A kutatás eredményei és a kifejlesztett szoftveres koncepció rugalmassága miatt a módszertan a jövőben más mérnöki szituációkban, például komplex beltéri szkennelések elemzése során is alkalmazható.

Barta Márk Endre

Építőmérnöki Kar

Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék

Környezeti modellalkotás 3D-ben mesterséges intelligencia eszközökkel

A kutatásomat a DKOP ösztöndíj keretében végzem, a térbeli adatgenerálás és geostatistikai modellezés mesterségesintelligencia-alapú módszereinek fejlesztésére fókuszálva. A beszámolási időszakban elkészült a GeoVAE-SGS módszertan, amely egy variációs autoenkóderen és látens térben illesztett Gauss-folyamaton alapuló hibrid keretrendszer a rétegzett altalaj-paraméterek automatizált, bizonytalanság-tudatos szimulációjára. A módszer képes a CPT adatok vertikális profilváltozékonyságának és laterális térbeli szerkezetének együttes modellezésére, manuális variogramillesztés nélkül. A kapcsolódó tudományos közlemény jelenleg átnézés alatt áll, benyújtása rövid időn belül megtörténik.

A kutatás központi vállalása - az AI-alapú térbeli adatgenerálási eljárás kidolgozása és validálása - teljesült. A modell ismételt térbeli validációs körökben stabil predikciós teljesítményt és kalibrált bizonytalansági becslést mutatott. A fejlesztés során létrejött egy reprodukálható, konfigurációvezérelt kódkörnyezet is, amely lehetővé teszi a módszer adaptálását további geoinformatikai alkalmazásokhoz.

A kutatási terv következő ütemében a fa belső szerkezetének adatvezérelt modellezését kívánom megvalósítani, amennyiben megfelelő minőségű és felbontású referenciaadat áll rendelkezésre. Ez a jelenlegi generatív térbeli modellezési keretrendszer természetes kiterjesztését jelenti heterogén biológiai anyagokra.

A vállalásoknak megfelelően a kutatási eredményeket bemutattam a Fotogrammetria és Geoinformatika Tanszék Detrekői szemináriumán, valamint részt vettem a Global Flood Partnership konferencián. Tudománynépszerűsítő tevékenységként közreműködtem az ÉMK kari nyíltnapon és a Kutatók Éjszakája rendezvényen. Tehetséggondozási és oktatási feladataim keretében MSc szakdolgozat társkonzulensi, BSc diplomamunka főkonzulensi feladatokat láttam el, valamint rendszeresen tartottam tanulószobai foglalkozásokat.

Bartakovics Edina

Építőmérnöki Kar

Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

Budapest körüli tervezett autópálya nyomvonalak mérnökgeológiája és földtani kockázatai

A mérnökgeológiai tervezéskor mindig fontos beazonosítani és értékelni a területen fellelhető földtani kockázatokat, ezért a tervezés első, kezdeti lépése sok esetben a mérnökgeológiai kockázatelemzés, amely a helyszínen található kőzetek geológiai tulajdonságainak és fizikai paramétereinek megismerésén alapul. A laboratóriumi vizsgálatok során meghatározhatók a kőzetek fizikai paraméterei. Ezek közül a legfontosabbak a testsűrűség, a vízfelvétel, az ultrahangterjedési sebesség, az egyirányú nyomószilárdság és a közvetett húzószilárdság. Ezen paraméterek értékeinek feldolgozásával foglalkoztam. A laboratóriumi adatok két területről is rendelkezésemre állnak, melyek közül az egyik a M0-ás tervezett északnyugati szakaszának alagútjaira esik, a másik pedig a Romániában, Erdélyben található parajdi sóbánya. Az utóbbi helyszínen a tavalyi évben egy jelentős természeti katasztrófa következett be, amikor májusban a bánya fölött folyó Korond-patak vize elárasztotta a bányavágatokat. Parajddal kapcsolatban a DKÖP kutatásom egyik célja az volt, hogy hiánypótlásként mérések készüljenek a só kőzetfizikai paramétereiről egy TDK munkában részt vevő hallgató bevonásával. Olyan adatok születtek, amelyek segíthetnek a további védekezésben, az elárasztott bányafal állékonyságának megítélésében, illetve ezek megalapozhatják egy új jövőbeni bányaszint nyitását is. A Budapest környéki tervezett új M0-ás alagutak esetében ezek a kőzetfizikai adatok hozzájárulhatnak egy pontosabb kiviteli terv elkészítéséhez és referenciaként szolgálhatnak egy hasonló kőzetkörnyezetben, de más helyszínen található alagút tervezéséhez.

Szinvai Szabolcs

Építőmérnöki Kar

Hidak és Szerkezetek Tanszék

Szálerősítésű polimer (FRP) betétekkel vasalt betonelemek erőtani viselkedése

A hagyományos vasbeton szerkezetekben a beágyazott acélbetétek elektrolitikus korrózióval szembeni védelmét a körülvevő alkális betonközeg kémiaiilag biztosítja. Hosszú élettartam vagy agresszív környezet esetén azonban e közeg a beton porozitása nem biztosított az elvárt élettartamon keresztül. Ilyen esetekben indokolt az acél helyett nemfém anyagú betétek betonvasalásként való alkalmazása. Jelenleg e célra gyantába ágyazott, természetes vagy mesterséges alapanyagú, pultrúzióval gyártott, szálerősítésű polimer (fibre reinforced polymer, FRP) betéteket használnak. A kiemelkedő korrózióállóság mellett azonban az FRP betétek tartószerkezeti alkalmazhatóságát alapvetően meghatározzák a betétek alapanyagtól és összetételtől függő, acélhoz képest akár jelentősen eltérő mechanikai, reológiai, fáradási és egyéb tulajdonságai. Ez a „vasbetonszerű” viselkedés olyan alapvető kérdéseit is érinti, mint például a beton és a beágyazott betét közötti tapadás, az irányváltó betét és beton, illetve a betétek egymás közötti erőátadási jelensége. FRP betétek alkalmazásakor a vasbeton szerkezeti analízis széleskörűen elfogadott, szabványosított számítási és viselkedési modelljei felülvizsgálatra szorulnak, különös tekintettel az FRP betét korlátozott duktilitására, eltérő tapadási tulajdonságaira és a szerkezeti elem ezekből adódó alakváltozási és repedezettségi állapotainak a leírására. Fontos szempont az eltérő mechanikai viselkedés megbízhatósági következményeinek elemzése is. A doktori kutatás alapvető célja a hagyományos vasbeton szerkezetek erőtani viselkedését leíró számítási és egyéb viselkedési modellek felülvizsgálata és szükség esetén azok módosítása FRP (vagy hibrid) vasalású szerkezetek esetén, a megbízhatósági szempontokra is kiterjedően. Laborkísérletekkel és numerikus analízissel alátámasztott számítási modellek kidolgozása axiális és nyírási igénybevétellel terhelt rúdszerkezetek teherbírási, valamint repedezettségi és alakváltozási vizsgálataihoz, valamint az FRP és beton kötötti erőátadás leírására, lehetőség szerint a vasbeton szerkezetekre vonatkozó modellekből kiindulva. A kutatás keretében átfogó szakirodalmi áttekintést végeztem a piacon elérhető FRP betétek jellemzőiről, az azokat meghatározó technológiai körülményekről és az erőtani alkalmazhatóság feltételeiről. A kutatás lépései röviden a következők voltak: (1) FRP betétek mechanikai tulajdonságainak vizsgálata szakító laboratóriumi és numerikus kísérletekkel, (2) FRP betétek tapadási viselkedésének vizsgálata kihúzó laboratóriumi és numerikus kísérletekkel, (3) FRP betétek hajlított környezetének vizsgálata laboratóriumi és numerikus kísérletekkel, (4) FRP betétekkel vasalt vasbeton gerendák szerkezeti viselkedésének vizsgálata laboratóriumi és numerikus kísérletekkel. Az eredmény meglévő számítási modellek pontosítása és új számítási modellek kidolgozása FRP vasalású betonszerkezetekre.

Tóth Bálint

Építőmérnöki Kar

Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

Rácsos héjak és térrácsok több kritériumú optimalálása

A Force Density Method kiterjesztett megfogalmazása hajlítás figyelembevételével

A Force Density Method (erősűrűség módszer) lehetővé teszi rácsos héjszerkezetek alakkeresését a rúdszerkezetek egyensúlyi feltételeinek kihasználásával. Jelen kutatás célja egy kiterjesztett megfogalmazás bemutatása, amely kifejezetten olyan rácshéjakat vizsgál, amelyek a függőleges síkban hajlítási merevséggel rendelkeznek. Az erősűrűség fogalma nemcsak az axiális erőkre, hanem a hajlítónyomatékokra és a nyíróerőkre is kiterjesztésre kerül. Ebben a keretben kimutatható, hogy a csomópontok transzlációs egyensúlya a függőleges koordináták tekintetében lineáris marad, feltéve, hogy a rácshéj alaprajzi vetülete rögzített. Egy minimum-maximum optimalizálási feladat kerül megfogalmazásra, amely mindkét erősűrűség-halmazt felhasználja olyan rácshéjak meghatározására, amelyek kielégítik az egyensúlyi egyenleteket előírt alaprajzi vetület mellett, miközben minimalizálják a megtámasztott csomópontoknál fellépő maximális reakcióerőket. A nem megtámasztott csomópontok függőleges egyensúlya automatikusan teljesül, míg a vízszintes és nyomatéki egyensúly, továbbá az elemek összhossza egyenlőségi kényszerekkel kerülnek előírásra. A numerikus szimulációk alapján az elemek hajlítási kapacitása jelentős hatással van a nyomott rácshéjak egyensúlyvezérelt alakkeresésére. A bemutatott példák olyan hajlítómerevséggel rendelkező rácshéjakat szemléltetnek, amelyek különböző geometriai kialakítások mellett is képesek a gravitációs terhek továbbítására vízszintes reakcióerők keletkezése nélkül.

ÉPÍTÉSZMÉRNÖKI KAR
ÉPÍTÉSZMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK

Almádi Gergő

Építészmérnöki Kar

Morfológia és Geometriai Modellezés Tanszék

Poliéderek és polihedrális mintázatok geometriája

Egy homogén hatlapú dobókocka egyenlő $p_i = 1/6$, ($i=1,2,\dots,6$) valószínűségekkel landol mind a 6 lapján. Ezt "fair kockának" hívjuk. Azonban ha a kocka inhomogén, akkor a p_i valószínűségek változhatnak, de egyik sem lehet nulla. Az ilyen kocka "statisztikailag cinkelt". Azonban egy dodekahedron (12 lapú) kocka esetében létezik olyan anyageloszlás, hogy a p_i ($i=1,2,\dots,12$) lapokhoz társított valószínűségek közül némely nulla lesz egyes oldalaknál. Ezt determinisztikusan cinkelt kockának nevezzük.

Ebben az előadásban bemutatom a determinisztikus cinkelés matematikai hátterét, továbbá egy olyan algoritmikus módszert, mellyel tetszőleges konvex testet optimális módon cinkelhetünk.

Külön hangsúlyt fektetünk konvex poliéderek monostabil cinkelésére, mikor arra törekszünk, hogy a test pontosan egyetlen lapján álljon meg. Megvizsgálunk speciális poliédereket, mint a Plátói és az Arkhimédeszi testek és ezen példákon keresztül megvizsgáljuk mérnöki szempontból a monostabil testek tervezésének kihívásait.

Budaházi Fanni

Építészmérnöki Kar

Építészettörténeti és Műemléki Tanszék

Poligonális szentélyek szerkesztésének geometriai kérdései a magyar gótika építészetében

A gótikus építészetben alkalmazott geometriai elvek és szerkesztési módszerek vizsgálata régóta kutatott téma. A mai, illetve a történeti Magyarország területén fennmaradt emlékanyag e korszakból elsősorban templomépületekből áll, amelyek szentélyei a régióban jellemzően poligonális apszissal épültek. Ez az alaprajzi kialakítás különösen alkalmas a lehetséges geometriai szerkesztési elvek elemzésére - különféle sokszögek szerkesztésének elemzésére nyújtanak lehetőséget.

Korábbi hasonló jellegű vizsgálatok túlnyomó részével szemben a jelen kutatás korszerű, lézerszenkenneres felmérési módszerre alapszik. A felmérésekből származó pontfelhők rögzítik az épületek egzakt geometriai kialakítását, a többféle forrásból eredő pontatlanságokkal együtt. Ezutóbbiak meghatározó szerepet játszanak a lehetséges szerkesztési eljárások azonosításában.

Bár a korszakból egyes geometriai szerkesztési folyamatok ismertek, számos alaprajzi kialakítás nem magyarázható korabeli források alapján. A kutatás célja lehetséges szerkesztési módszerek felderítése és feltárása valós épületek esetén, ezáltal a középkorban alkalmazott geometriai, illetve a szélesebb értelemben vett gondolkodás jobb megismerése. További cél a történeti Magyarország területén előforduló poligonális apszisformák feltérképezése és elemzése.

Az esettanulmányként vizsgált templomok jelentős formai változatosságot mutatnak, elemzésük több feltételezhető tervezési eljárás lehetőségét vetette fel. Az egyes épületek pontos geometriájának, falpozícióinak és arányrendszerének összevetése alapján valószínűsíthető, hogy a gótikus építészetben az elméleti tervezési elv nem minden esetben esett egybe a gyakorlati kitűzési folyamat logikájával. A vizsgálat mind elméleti, mind gyakorlati szinten olyan valószínűsíthető geometriai közelítések jelenlétére is rámutat, amelyek a tervezési, illetve kivitelezési folyamat egységesítését, egyszerűsítését szolgálhatták.

Geraszin Nikolett Kitti

Építészmérnöki Kar

Urbanisztika Tanszék

Közterületfejlesztés támogatása mesterséges intelligenciával

A budapesti közterek tervezése az utóbbi évtizedekben egyre nagyobb figyelmet kap, mégis gyakran olyan döntések születnek, amelyek elsősorban formai és geometriai megfontolásokon alapulnak, miközben a terek valós működése és megélt minősége nehezen válik összehasonlíthatóvá és számonkérhetővé. A kutatás célja egy olyan, várostervezői szemléletű, adatvezérelt módszertani keret kialakítása, amely képi adatokra és térbeli-tipológiai vizsgálatokra támaszkodva képes támogatni a közterek fejlesztését és új, rendszerezett nézőpontot ad a términőség értelmezéséhez. A vizsgálat központi esettanulmánya a budapesti Nagykörút, mint kiemelt közlekedési és városszerkezeti tengely, amely történeti jelentősége ellenére ma több, a kortárs városi életminőséget érintő problémával küzd: az autóforgalom túlsúlya, a zöldfelületek hiánya, a gyalogoskomfort alacsony szintje és a közterületi minőség romlása.

A kutatás interdiszciplináris módszertant alkalmaz. Egyrészt utcametszeti és funkcionális elemzéssel vizsgálja a közlekedési és közterületi rétegek (villamos, gépjárműforgalom, gyalogosfelületek, zöldsávok, homlokzati ritmus és földszinti aktivitás) arányait és kapcsolatrendszerét. Másrészt a Nagykörút nemzetközi kontextusban kerül értelmezésre: olyan városok példáival összevetve, ahol a villamos a városi identitás és a közterületi élet meghatározó eleme, ugyanakkor eltérő módon integrálódik a gyalogos- és zöldfelületi rendszerekbe. A kutatás innovációja, hogy a tipológiai összehasonlítást mesterséges intelligencia-alapú képelemzéssel egészíti ki: a CLIP modell a városi terek vizuális jellemzőit és hasonlóságait számszerűsíti, míg a LLaVA modell képi leírásokat, értelmezési szempontokat és lehetséges fejlesztési irányokat fogalmaz meg a képi mintázatok alapján. E kettős megközelítés célja annak vizsgálata, hogy a gépi észlelés milyen módon képes kiegészíteni a hagyományos városépítészeti elemzést és hogyan alakítható olyan módszertani döntéstámogató keretté, amely a térkarakterek és vizuális mintázatok összevetését átláthatóbbá, következetesebbé teszi.

A kutatás eredménye egy adaptálható összehasonlító szemlélet és eszközkészlet, amely összekapcsolja a hagyományos utcametszeti-tipológiai elemzést a képi hasonlóságok számszerűsítésével (CLIP) és a képek szöveges, kvalitatív értelmezésével (LLaVA). A munka rámutat arra, hogy a városi tér nem statikus: a koordinált módon rögzített képi felvételek térbeli és időbeli kiterjesztése hosszabb távon lehetőséget teremthet Budapest városi változásainak követésére, valamint egy dinamikus, térképes összehasonlító adatbázis kialakítására. A módszer nem váltja ki az emberi tervezői döntést, hanem annak támogatására szolgál: segít észlelhetővé és rendszerezhetővé tenni azokat a finom térbeli és vizuális jelzéseket, amelyek a közterek működését és élhetőségét meghatározzák és ezzel hozzájárulhat emberközpontúbb, fenntarthatóbb városi beavatkozások megalapozásához.

Hajas Ábel

Építészmérnöki Kar

Építészettörténeti és Műemléki Tanszék

Végvári erődítések geometriai kérdései Magyarországon a 16-17. században

A műemlékvédelemben egyre népszerűbb a térszkennelés használata, viszont továbbra is vannak kiaknázatlan lehetőségek a módszer alkalmazásában. Ezen cikk témája a földi- és légi szkennelés áttekintése, illetve olyan módszerek bemutatása, melyek ezidáig nem alkalmaztak. A cikk elején bemutatom az alakhű felmérés módszerét, mely a kutatásunk alapjául szolgál. Ezután bemutatom a felmérések módszertanát és a konkrét lépéseket, melyek ahhoz szükségesek, hogy az vizsgálatokat elvégezhessük. A módszerek alkalmasak pontos, mérésre is használható, geometriailag helyes alaprajzok létrehozására és falszövetek vizsgálatára és vizualizációjára. Emellett a módszerek lehetővé teszik nagyobb léptékű alaprajzi vizsgálatok készítését, melyek figyelembe veszik a környező földrajzi adottságokat is.

A cikk a módszereket a PhD kutatásom során vizsgált magyar várakon mutatja be, azonban a vizsgálatokat bármely más épülettípuson is el lehet végezni. Végül a cikk kitér a további felmérési módszerek lehetőségeire és új kutatási irányokra is.

Kis Alexandra Éva

Építészmérnöki Kar

Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

Periodikus térbeli rácsos szerkezetek merevségeinek számítása energia módszerrel

A térbeli rácsos szerkezetek használata előnyös, mivel az alkalmazott anyagmennyiséghez képest nagy teherbírással rendelkeznek. Ugyanakkor ezeknek a szerkezeteknek a tartószerkezeti vizsgálata meglehetősen időigényes, mivel nagyszámú elemből állnak. Hatékony megközelítés, ha a sok egyedi rúdelemből felépülő térbeli rácsos szerkezetet egy azzal ekvivalens kontinuum modellel (például lemez- vagy héjmodellel) helyettesítjük, amely az eredeti szerkezettel azonos merevséggel, terheléssel és peremfeltételekkel rendelkezik. Ez a tervezési koncepció jól alkalmazható a koncepcionális és az előzetes tervezési fázisban és bizonyos korlátozások mellett feltehetően a végleges tervezési fázisban is.

A térbeli rácsos szerkezetek általában periodikus geometriával rendelkeznek. A legkisebb szerkezeti egységet, amelyből a teljes szerkezet pusztán eltolással, forgatással és/vagy tükrözéssel felépíthető, elemi cellának nevezzük.

Az ekvivalens merevséget az elemi cellára határozzuk meg a periodikus peremfeltételek, valamint a választott kontinuum modell alakváltozásainak és belső erőinek figyelembevételével. Az ekvivalencia azon a feltételen alapul, hogy a térbeli rácsos szerkezet elemi cellájának alakváltozási energiája vagy komplementer alakváltozási energiája megegyezik a kontinuum elemi celláéval. A térbeli rácsos szerkezet elemi cellájának alakváltozási energiáját numerikusan számítjuk, míg a kontinuum elemi cella energiáját analitikusan határozzuk meg. Kimutatható, hogy ha az alakváltozási energiát használjuk, akkor az ekvivalens merevség felső korlátjára, míg ha a komplementer alakváltozási energiát alkalmazzuk, akkor alsó korlátjára kapunk becslést.

Az előadás bemutatja, hogy a térbeli rácsos szerkezet különböző paraméterei (például a rudak közötti kapcsolatok típusa, a rudak keresztmetszeti tulajdonságai, a rudak hossza stb.) miként befolyásolják az ekvivalens merevség értékét, valamint, hogy a választott kontinuum szerkezeti modell típusa hogyan vezethet a merevségi értékek szorosabb vagy lazább korlátjához.

Pődör Gergő

Építészmérnöki Kar

Urbanisztika Tanszék

Decentralizáció - a nagyvárosi központrendszer stratégiai tervezése a város rezilienciájának növelésére

A városi központi hely (urban centrality) szerepet hagyományosan két egyidejű tényező határozza meg: a sűrűség (density) a mennyiségi, míg az intenzitás (intensity) a minőségi jellemzőkért felel elsődlegesen. Bár a 20. század urbanisztikaelmélete a központi helyek esetén a mobilitás (mobility) fontosságát is hangsúlyozza és számos koncepció alapoz a nagy kapacitású kötőtpályás közösségi közlekedés prioritására, a 21. századra a kapcsolódás és kapcsolatok általánosan növekvő szerepével az összeköttetés egyre inkább felértékelődik, fontossága szükségszerűen előtérbe kerül. A kutatás hipotézise szerint nagyvárosi - és ezzel párhuzamosan budapesti - alközpontot (centrality - C) ott érdemes fejleszteni a 21. században, ahol a sűrűség (density - D) az intenzív/vegyes területhasználat (intensity - I) és a nagykapacitású kötőtpályás közösségi közlekedés (mobility - M) egybevágh, vagy stratégiai tervezéssel ilyen helyek azonosíthatók.

A városi alközpontok három egyenrangú szempontra épülő elve és az ezek között kialakított rendszer eddig a hazai településtudományi kutatásokban nem került fókuszba. Sőt, Budapest településtervei a kérdését sem kezelik egységesen, ami az alközpontrendszert tekintve széttartó fejlesztési stratégiához és nem működő mellékközpontokhoz vezet. A kutatás elvégzése egy Budapest számára is alternatívát kínáló stratégiai keretrendszer megalkotása felé mutathat.

A kutatás elméleti gerincét az 1920-as, 1930-as évek óta megjelent központi hely elmélete, annak fejlődése és az erre építő policentrikus városfejlesztési modellek nemzetközi és magyar szakirodalmi elemzése jelenti, amit az 1990 után született budapesti településtervek és vonatkozó stratégiák az alközpontokat fókuszba helyező vizsgálata támogat. A kutatás tehát Budapestre összpontosít és a magyar főváros elmúlt bő 3 évtizedét vizsgálja. A kutatást Koppenhága és Prága hasonló településterveinek, valamint a párizsi „megállóra szervezett negyed” (station neighbourhood - quartier de gare) elméletének elemzés egészíti ki. A prágai és koppenhágai dokumentumokat hasonló elv mentén szükséges elemezni, míg a párizsi minta a mobilitás fejlesztési stratégiájának példáját adja. A helyszínbejárásokat ösztöndíjlehetőségek (pl. Szegő László Várostervezési Ösztöndíj, Erasmus rövid időtartamú mobilitás) támogatják.

A budapesti alközpontrendszer elemzésének adatbázisát egy az adott központokra illesztett GIS alapú izokronos vizsgálat képezi. A 15 perces izokronákat vektoros állományra és raszteres képekre is rá lehet vetíteni. Az egyes tervek vektoros állományainak beszerzéséhez budapesti partnereket szükséges keresni (pl. Budapest Főváros Önkormányzata). A munkamódszer kidolgozását az 1950-ben Budapesthez csatolt 7 város (Budafok, Csepel, Kispest, Pesterzsébet, Pestszentlőrinc, Rákospalota, Újpest) központjának elemzésén kezdem el.

A kutatás végső kimenete egy alternatíva felvázolása lehet a Budapesten jelenleg uralkodó sugaras-gyűrűs fejlesztési stratégiára.

Szondi Máté Álmos

Építészmérnöki Kar

Morfológia és Geometriai Modellezés Tanszék

Weingarten-felületek analitikus vizsgálata, morfológiai és szerkezetmechanikai alkalmazásuk

A matematikában különböző felületek egzakt leírása, vizsgálata, illetve adott feltételeket kielégítő sima felületek létrehozása a differenciálgeometriai kutatások homlokterében áll. Az adott peremek közé kifeszülő szappanhártya, azaz egy minimálfelület alakját leíró differenciálegyenletet J. L. Lagrange fedezte fel 1768-ban a klasszikus variációszámítás módszereinek kidolgozása folyamán, azonban tényleges megoldásokat csak a következő évtizedekben írtak le. G. Monge bizonyította, hogy a rögzített peremek közé kifeszíthető, minimális felülettel rendelkező sima felület átlaggörbülete minden pontjában zérus. A minimálfelületek általánosításaként tekintünk azokat a felületeket, amelyekre minden pontban az átlaggörbület és a Gauss-féle szorzatgörbület ugyanazon lineáris összefüggést elégíti ki. Ezen, később róla elnevezett felületeket J. Weingarten vizsgálta először a XIX. század közepén.

Előadásomban rámutatok, hogy a természetben megfigyelhető egyes kopási folyamatokat (pl.: folyómederben kopó szikla felülete) leíró egyirányú Bloore-modell stacionárius megoldásai Weingarten-felületek és megfelelő feltételek esetén a természeti formák közel Weingarten-tulajdonságúak. Másrésről, ahogy a minimálfelületek a dominánsan feszített szerkezet alakjával állnak összefüggésben, úgy a Weingarten-felületek is megfeleltethetők adott terheket membrán feszültségekkel ellensúlyozó felületeknek. Azt találjuk tehát, hogy a természetben fellelhető formák membrán erőjátékú héjak geometriáját adják.

A fenti analógiára építve egy új formakeresési módszert vezetünk be, amely Dirichlet-peremfeltételek mellett a Bloore-folyam szimulációjával határoz meg minimálfelületet, illetve általános esetben a Weingarten-felületeket. Rámutatunk arra, hogy téglalap alakú tartomány esetén a Dirichlet-peremfeltételek inkompatibilisek lehetnek a végső megoldással, ami matematikai magyarázatot ad a vékony héjak mechanikájában megjelenő zavart peremfeltételekre. A teljes, nemlineáris Bloore-operátor szimulációja az erős nemlinearitás miatt nem minden esetben konvergens; a lokális stabilitást vizsgálva új módszert adunk hiperbolikus felületek számítására. Megvizsgáljuk az izotróp lineáris Weingarten-felület mechanikai tulajdonságait a Pucher-féle differenciálegyenlet segítségével, valamint kapcsolatot teremtünk a főgörbületek és a főfeszültségek között.

Varga Kristóf Renátó

Építészmérnöki Kar

Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

Bordás boltozatok teherbírása

Egy végeselem-alapú modell kerül bemutatásra, amely lehetővé teszi falazott kupolák tönkremenetelének vizsgálatát.

Ilyen szerkezetekben a húzószilárdság hiánya nemlineáris mechanikai viselkedést eredményez, amelynek kezelése összetett számítási algoritmust igényel. A modell képes megkeresni tetszőleges, körszimmetrikus felületszerkezetek tönkremeneteli mechanizmusát, valamint törőterhét. A keresett egyparaméteres teher kis lépésekben kerül felhelyezésére a szerkezetre, majd a program minden lépésben ellenőrzi az előre megadott lokális törési feltételeket, szükség esetén megnyitva az elemek közti kapcsolatokat. Ez fokozatosan csökkenti a szerkezet kezdeti merevségét, míg végül globálisan vagy lokálisan túlhatározottá válik és összedől. Az ehhez tartozó teherszintet nevezzük törőtehernek.

A módszert egy félgömb kupolán demonstráljuk. Az egyes anyagi tulajdonságok (nyomó- és húzószilárdság mértéke), valamint a kezdeti szerkezeti sérülések (korábbi események során kialakult repedések) hatására vonatkozóan paramétervizsgálatokat végeztünk. Teszteltük továbbá a lokális megerősítés (adott magasságban való abroncsolás) hatását.

A bemutatott modell segítséget nyújthat valós vagy elvi történeti boltozott felületszerkezetek kiértékelésében, a szerkezeti hatékonyság kvantifikálásában és sérült szerkezetek megfelelő megerősítésének tervezésében.

Zubek Károly

Építészmérnöki Kar

Urbanisztika Tanszék

Városrehabilitáció a huszadik század második felében - A városi és táji léptékű örökség koncepciói a második világháború utáni időszak tervezéstörténetében

Az 1970-es évek épített öröksége a kortárs szakmai és társadalmi diskurzusban egyaránt konfliktusokkal terhelt, különösen a történeti környezetben megvalósult modern beépítések esetén. A kutatás a modern beépítések városépítészeti-történeti kontextusának feltárására tesz kísérletet. Az 1960-as évek végétől az örökségszemlélet átalakulásának következtében a történeti örökségként kezelt területek körének bővülése vált megfigyelhetővé. A korábban főként a műemléki területekhez kapcsolódó tervezői megközelítések fokozatosan megjelentek a nem kiemelten védett, de történeti városszövet megújításai során is. A modern építészeti dogmák válságával a nemzetközi és a hazai diskurzusban is megjelenő szemléletváltással a városszövetből adódó értékek felértékelődése figyelhető meg. A kutatás ezeket a folyamatokat két, egymást kiegészítő szakaszban vizsgálja. Az első szakaszban a vizsgálat az örökségértelmezés átalakulására összpontosít a hazai városépítészeti szaksajtó elemzésén keresztül, bemutatva a történeti örökség fogalmának és értékelésének változásait a vizsgált időszakban. Ennek keretében feltárhatóvá vált, miként formálódott a városrehabilitáció fogalmi és módszertani kerete a szanálásokkal szembeni kritikák, a műemléki jelentőségű területeken szerzett tapasztalatok, valamint a lokális szempontok erősödésének hatására. A modern városépítészeti megközelítésekkel szemben az 1970-es évektől megfogalmazott kritikák nyomán a történeti városszövet kezelésére vonatkozó új szempontrendszer kialakulása vált érzékelhetővé. A kutatás második szakaszában esettanulmányokon keresztül, városközpontok megújítását célzó tervpályázatok mentén kerülnek bemutatásra az 1970-es évek városépítészeti koncepciói a történeti városszövet megújításával összefüggésben. A tervpályázatok elemzése arra adott lehetőséget, hogy modellszerűen vizsgálhatóvá és bemutathatóvá váljanak a felmerült városképi és városszerkezeti dilemmák, valamint az ezekre adott városépítészeti válaszok. Emellett a kutatás kísérletet tesz a felmerült koncepciók elhelyezésére a korszak hazai és nemzetközi szakmai diskurzusában.

Zubek Károly

Építészmérnöki Kar

Urbanisztika Tanszék

Budapesti városrehabilitációs tervpályázatok az 1980-as években

A kutatás célja Budapest belső városrészeinek 1980-as évekbeli rehabilitációs folyamatait alakító tervezési koncepciók vizsgálata. A második világháborút követő évtizedek során Budapesten a városfejlesztés elsődleges célja a lakáshiány enyhítése volt, amely elsősorban a beépítetlen, peremterületek hasznosításával valósult meg. A belső területek helyreállítására néhány kiemelt helyszínen kívül nem maradt kapacitás. Ugyan számos terv készült, ezek többnyire nem jutottak el a megvalósulásig. Az 1970-es évek végére azonban az épületállomány fizikai leromlása és az ezzel járó társadalmi folyamatok következtében a belső területek rehabilitációja halaszthatatlanná vált. Az első 15 éves lakásépítési program lezárultával a mennyiségi lakáshiány helyett egyre inkább a minőségi problémák kerültek előtérbe. Ezzel párhuzamosan az örökségszemlélet is átalakult, a korábban főként műemléki területekhez kapcsolódó tervezői megközelítések fokozatosan megjelentek a nem védett, de történeti városszövet megújításában is. Mindezek eredményeként megkezdődött a korábbi, nagymértékű szanálással járó rekonstrukciókat felváltó, a városszövet értékeit megőrző tömbrehabilitációk előkészítése. Ehhez kapcsolódóan az 1980-as évtized első felében több városépítészeti tervpályázat került kiírásra. A kutatás esettanulmányokon keresztül, egy-egy budapesti tömb, városrész megújítását célzó tervpályázat mentén kívánja az 1980-es évek városrehabilitációs gyakorlatát elemezni. A tervpályázatok elemzése lehetőséget ad a különböző koncepciók modellszerű vizsgálatára és egymással való összevetésére, így pedig azoknak az elméleti és gyakorlati megközelítéseknek a feltárására és értelmezésére, amelyek a vizsgált nagyvárosi tömbök megújítását irányították. A vizsgálat fókuszában a városi örökség értelmezési lehetőségei állnak, amely kapcsán a megőrzendő és bontandó épületek kiválasztásának stratégiája, a történeti és új beépítések kapcsolata, valamint az ezekhez kapcsolódó értékválasztások kerülnek bemutatásra. A kutatás emellett arra keresi a választ, hogy milyen városképi és városszerkezeti dilemmák merültek fel, ezekre a pályázók milyen válaszokat adtak, valamint, hogy a megfogalmazott gondolatok hogyan viszonyulnak a korszak hazai és nemzetközi tendenciáihoz. Cél azoknak a tervezéstörténeti, eszmétörténeti folyamatoknak a feltárása, amelyek révén megérthető és kontextusba helyezhető, hogy a korszakban hogyan jelent meg a városi örökséghez való viszony a tervezési gyakorlatban.

ÉPÍTŐMŰVÉSZET

Dormán Miklós

Építészmérnöki Kar

Urbanisztika Tanszék

Az eltérő tervezői diszciplínák hatása a városiasodó kistélepülések közterei esetében Budapest agglomerációjában

Napjainkban az urbánus gondolkodás már a kistélepüléseket is érinti. Ahogy növekszik a lakosság, illetve fiatalodik a populáció, úgy bővül az infrastruktúra, amelyek térbeli sűrűsödése átrendezi a meglévő köztereket, városi mintázatok jelennek meg a településeken.

A kutatás olyan Budapest agglomerációján túl elhelyezkedő kistélepülések számára keres útmutatást, ahol megjelenik a fővárosból kitelepülő fiatal családok lakossága, de a fővárosba történő ingázás már nem jellemző a nagyobb távolság miatt. Ebből következik, hogy itt már nem alvóváros szerepet tölt be az élőhely, tehát a közterek használatára felmerül az igény.

A kutatás három súlyponti kérdése: Mikor viselkedik a köztér közösségi térként? Kik teszik azzá? Mi jelenti a mintaadást az urbanizálódó kistélepüléseken?

Az értekezés a kistélepülések központi tereire fókuszál, melyeken keresi a választ a közösségi felhasználás módjára, a jelenkor városi mintaadásának köztéri lehetőségeire a különböző diszciplínák szempontjai mentén.

Az fél éves kutatás központi kérdése: mik a különböző tervezői és gazdasági diszciplínák hatásai a városiasodó kistélepülések köztereinek működésére?

A vizsgálat eredményéből egy olyan tanulmány létrehozása a cél, ami segítséget nyújt a kistélepülések közösségi tereinek minőségi alakításához, illetve a lakosság alapvető életminőségét színvonalasabbá, közösségi életét ellenállóbbá teheti.

Erdős Imre

Építészmérnöki Kar

Lakóépülettervezési Tanszék

Építészet, oktatás és filozófia - Egy élet az összművészet szolgálatában

A dolgozatban az építészetoktatás emberképző szerepét elemeztem a debreceni építészképzés reformját végrehajtó Puhl Antal oktatói és szellemi örökségének vizsgálatán keresztül. A kutatás során nem monografikus igénnyel közelítettem Puhl életművéhez, hanem annak egy eddig kevésbé feltárt aspektusára, sajátos módszertanára és pedagógiai attitűdjére fókuszálva. A vizsgálat központi kérdése, hogy milyen szerepet játszik egy mester személyes érdeklődése, kommunikációja és viselkedésmintája az építészhallgatók alkotói identitásának kialakulásában. A kutatás kvalitatív módszertanra épül: interjúk, személyes visszaemlékezések és oktatási tapasztalatok elemzésével törekszik Puhl sajátos oktatói gyakorlatának rekonstruálására és kontextualizálására. Az empirikus anyagot filozófiai, pszichológiai és építészetelméleti források egészítik ki, különös tekintettel a történetmesélésre, a mintakövetésre és az interdiszciplináris gondolkodás szerepére. Tézisem, hogy az építésszé válás folyamata nem kizárólag technikai és szakmai kompetenciák elsajátítását jelenti, hanem komplex nevelési folyamat, amelyben a közeg kultúrája, az oktatói attitűd és a mester-tanítvány kapcsolat meghatározó jelentőséggel bír. A kutatás célja olyan általánosítható következtetések megfogalmazása, amelyek hozzájárulhatnak az építészeti oktatás pedagógiai szemléletű újragondolásához és konkrét, alkalmazható oktatásmódszertan kidolgozásához.

Érsek Máté

Építészmérnöki Kar

Középülettervezési Tanszék

Szomszédok alulnézetből - Szlovénia kortárs építésze regionalista praxisok tükrében

A kétezres évek első évtizedében nemzetközi elismertséget kiérdemlő Bevk Perovič, OFIS irodák és kortársaik után az elmúlt években új generáció lépett színre a szlovén kortárs építészetben. Az 1990-es években alapított, 2005-ben a SIXPACK című kiállításon bemutatkozó tervezők ma is az oktatás és az építészeti közélet aktív szereplői. 2022-ben Ljubljanában New Praxes, New Tools címmel tíz fiatal iroda mutatta be munkáit és módszertanát. A kurátori koncepció az egyes műhelyek önálló bemutatását tűzte ki célul, a katalógus gerincét alkotói portrék sorozata adja. A tematizálás hiánya a kortárs szcéná diffúz jellegére enged következtetni: a mai praxisokat - időbeliségükön túl - nehéz egynemű szellemi közösségként értelmezni, részben függetlenek közvetlen elődeiktől is. Az elmúlt évtizedekben az életmód, közízlés, nemzetköziség és ökológia terén végbement változások régiókon, művészeti formákon és iparágakon átívelő következményekkel bírnak. Hogyan lehet lokálisan érvényes alkotói felfogást kialakítani Szlovéniában a 21. század építészeti, globalizációs, kulturális, társadalmi folyamatai mentén (vagy azok ellenében)?

Kutatásom célja írott források - kiállítási katalógusok - és személyes interjúk segítségével meghatározni a „SIXPACK-korszakot” követő időszak szlovén építészirodáinak stratégiáit. A vizsgálat eredménye a szlovén kortárs építészet belső folyamatait, viszonyaiba nyert betekintés a nemzetköziség kontextusában: annak feltárása, milyen stratégiák - referenciák, múlthoz való viszony - mentén határozzák meg alkotói pozíciójukat a fiatal építészek az elmúlt évtized társadalmi, gazdasági változásai nyomán.

Gulyás Eszter

Építészmérnöki Kar

Lakóépülettervezési Tanszék

Valós és képzelt mintázatok

Kisléptékű épületcsoportok tipologikus vizsgálata gyűjtemények segítségével

Az épített környezet szövetét alkotó házak közti viszony hiánya, felbomlása vagy félreértelmezése a modern társadalom egy egyre nagyobb méretet öltő problémája. Amit ma illeszkedésnek nevezünk, a település ősképeként említhető nőtt formációkban természetes módon megvalósult az anyagok, technológiák korlátossága és az összetartó közösségek okán, miközben a sajátkezü építésből fakadóan minden épület egyedi vonásokkal rendelkezett. Az összefüggő épületcsoportokra jellemző homogenitás és heterogenitás ilyesfajta természetes elegyére ugyan csak elvétve, de ma is találunk élő példákat: izolált, általában speciális funkciót rejtő spontán struktúrák, egy-egy tervezett együttes, vagy akár fikciók formájában. A kutatás absztrakt úton vizsgál ilyen, kisléptékű házcsoportokat. Célja a struktúrákat végigkísérő építészeti nyelv felfejtése, segítségükkel a koherencia lehetséges útjainak fürkészése. Ezáltal létrejöhet egy, az oktatásban és az építészeti tervezésben is használható gyűjtemény és eszköztár, mely egyben a mai, hazai településképi felfogás kritikája.

Herczeg-Szakonyi Luca Zsófia

Építészmérnöki Kar

Lakóépülettervezési Tanszék

Homlokzat, mint fal

A kortárs városi környezetben a homlokzatok gyakran pusztán vizuális vagy technikai határfelületként jelennek meg, miközben tér- és közösségformáló potenciáljuk rejtve marad. Kutatásom alapvető kérdése, hogy miként válhat a homlokzat nem csupán passzív formai vagy szerkezeti elemmé, hanem aktív átmeneti térré, amely képes kapcsolatot teremteni épület és városi közeg, múlt és jelen, privát és közösségi használat között. E kérdéskört Mende Valér épületeinek homlokzatain keresztül vizsgálom.

Kutatásom egy háromlépcsős módszertanra épül: transláció (megfigyelés és értelmezés), imitáció (rendszerezés és elsajátítás) és emuláció (kísérleti továbbírás). A transláció fázisában Mende Valér épületeinek homlokzati elemeit rajzi megfigyelésen keresztül elemzem, a formai és térbeli viselkedés megértésére koncentrálni. Az imitáció szakaszában az azonosított elemeket rendszerezem egy kéttengelyű tipológiai mátrix segítségével, amely a tartószerkezeti szerepet és a homlokzati mélység térhasználati minőségét (jelölő, meghatározó, ösztönző) kapcsolja össze. Az emuláció fázisában pedig a formákat leválasztom eredeti kontextusukról és kísérleti módon, makettek segítségével új, absztrakt homlokzati helyzetekké alakítom őket. Az így létrejövő térbeli kísérletek olyan gondolkodási, módszertani keretet adnak, amely a diplomatervezésem során - amelyben szintén egy Mende Valér épülettel foglalkozom - is alkalmazható.

A homlokzati vastagság tudatos térbeli kialakítása közvetlen hatással van a közterek használati intenzitására és minőségére. Azok a homlokzati megoldások, amelyek nem állnak meg a vizuális artikulációnál, hanem tényleges térhasználati lehetőséget nyújtanak, nagyobb eséllyel ösztönzik az emberi jelenlétet, a megállást és a kapcsolódást az épülethez és a városi környezethez.

A kialakított szemlélet tehát felhívja a figyelmet arra, hogy a homlokzat kialakítása ne lezárt formai kérdésként, hanem a tervezési döntések egyik interaktív rétegeként működjön. Hosszabb távon a kutatás egy olyan építészeti gondolkodásmódot alapoz meg, amelyben a homlokzat aktív térként járul hozzá egy érzékenyebb, emberléptékűbb városi környezet kialakításához.

Karlovecz Ádám

Építészmérnöki Kar

Exploratív Építészeti Tanszék

Új realizmus az építészetben

Az egyszerűség építésze három fiatal skandináv praxis tervezői attitűdjének tükrében

A kutatás fókuszában a 2008-as gazdasági válságból való kilábalás nyomán formálódó új építészeti kultúra áll. Ebben a paradigmában - közvetlen reakcióként a megelőző időszak tendenciáira - az egyszerűség, a mértéktartás, a normalitás és a fenntarthatóság váltak meghatározó alapelvekké. Bár a jelenség univerzális - ezáltal a hazai építészetben is tetten érhető -, vizsgálatához Skandinávia nyújtja az egyik legkiválóbb kontextust. A régióban a fiatal tervezők hamarabb jutnak jelentős feladatokhoz, a klímatudatos attitűd mélyen gyökerezik a társadalomban, az építészeti hagyományokat pedig a praktikus, funkcionalista és természetközeli megoldások dominálják. A dolgozat célja ennek az aktuális trendnek a feltérképezése, az építész megváltozott, felelősségteljesebb társadalmi szerepének vizsgálata, valamint a skandináv és a magyar viszonyok összevetése. Mindezek alapján a kutatás a hazai tervezési gyakorlatban is adaptálható, konkrét módszertani javaslatokat fogalmaz meg. A disszertáció felépítése az elmélet és a gyakorlat szintézisére épül. Az elméleti keretet a témához kapcsolódó források kritikai elemzése adja. A gyakorlati pillért egy fél éves skandináv terepmunka képezi, melynek során három kiemelkedő fiatal építészműhely (Johansen Skovsted, Förstberg Ling és Søren Pihlmann) praxisa került górcső alá személyes interjúk, helyszíni épületbejárások és hazai vendégelőadások megszervezése révén. A munka tudományos és gyakorlati hozadéka, hogy egy hazánkban még kevésbé elterjedt építészeti attitűdöt tesz szélesebb körben megismerhetővé, friss skandináv példákkal gazdagítja a hazai szakmai közbeszédet és új, fenntartható megközelítésekkel bővíti a kortárs építészeti eszköztárat.

Kolossváry Bernadett

Építészmérnöki Kar

Középülettervezési Tanszék

Immunis építészet. Folyamatalapú, újrahasznosítást támogató tervezési stratégiák lehetőségei a kortárs építészetben

A 2008-as gazdasági válság szemléletformáló szerepe az újrahasznosítást középpontba állító kortárs spanyol építészeti stratégiákban, az Unfinished (2016) és a The New Realist (2023) kiállítások kritikai értékelése alapján.

Az elmúlt pár évben építésként veszek részt a budai Hengermalom elhagyott épületének lépésről lépésre történő újrahasznosításában. Az utóbbi évtizedekben a szakemberek érdeklődésének előterébe került a meglévő, üresen álló épületállomány problematikája. Bár az épületek hasznosításának hagyománya régmúlta tekint vissza, az adaptív hasznosítás (adaptive reuse) kifejezés az 1970-es években jelent meg a szakirodalomban. A fogalom jelentése sok oldalról kutatott, ugyanakkor építészeti szempontból további kiaknázatlan területeket rejt. Kutatásom a kapcsolódó tervezői szemléletet, valamint annak építészeti lenyomatát, eszköztárát és esztétikai nyelvezetét vizsgálja.

A kutatás fókusza Spanyolország, ahol a 2008-as gazdasági világválság következtében jelentős mennyiségű beruházás félbemaradt, mely új kihívásokat eredményezett a hasznosítási folyamatokban. Az építészek a félbemaradt történetek folytatására paradigmaváltást eszközöltek, új építészet hozzáállást teremtettek. Ezt a jelenséget összegzi a 2016-os Unfinished című, a 15. Velencei Építészeti Biennálé Arany Oroszlán díjas spanyol pavilon kurátori koncepciója.

A témát tovább árnyalja a 2023-ban megrendezett barcelonai The New Realist kiállítás, mely egy olyan Katalónia és a Baleár-szigetek területén tevékenykedő építész generáció munkásságát veszi sorra, akik a gazdasági válság idején kezdték szakmai pályafutásukat, melynek hatására munkájukban kirajzolódik egy új, realista tervezői szemlélet, továbbá felismerhető építészeti nyelvezet.

Hipotézisem szerint a 2008-as gazdasági válságra a spanyol kortárs építészet olyan tudatos stratégiákkal reagált, mely a korszak meghatározó kiállításainak tematizálásában is nyomon követhető és annak hatása a mai szemléletben is maradandó. Mindennek eredménye, hogy a spanyol adaptív hasznosítási gyakorlat mostanra sajátos, nemzetközi viszonylatban példaértékű, építészeti nyelvezetet írt.

A kutatáshoz, a témával kapcsolatos átfogó szakirodalom megismerésével párhuzamosan, a két spanyol kiállítási koncepcióját, bemutatott anyagát és legfőképpen az ezekhez készült kiadványokat hívom segítségül. Emellett a kiállításokon bemutatott, általam kiválasztott projektek esettanulmány-alapú, utánkövetéses módszerrel történő értékelésére kerül sor, helyszíni projekt látogatásokon és kiállítás kurátoraival (Carlos Quintans, Joan Roig) készült interjúkon keresztül.

A két spanyol kiállítási koncepció körüli elméleti anyag kritikai értékelése feltételezésem szerint alkalmas az adaptív hasznosítás témakörének tágabb szakirodalmának rendszerezésére is és egyben egy olyan fogalmi háttér tisztázására, amely nem csak a további kutatásomat, de az építészeti gyakorlatommal kapcsolatos módszertani tisztázást is elősegíti.

Nedeczky Zsolt

Építészmérnöki Kar

Lakóépülettervezési Tanszék

Modern romokban rejlő lehetőségek - Átmeneti, időszakos használatok

Szinte valamennyi hazai településen találhatók olyan területek és épületek, amelyek napjainkra elvesztették eredeti funkciójukat, így helyük és szerepük bizonytalanná vált a településszövet egészében. Az egykor aktív helyszínek ma kihasználatlanul, elhagyatottan állnak, gyakran zárványként ékelődve a kialakult városszerkezetbe. Bár látszólag üresek, valójában mindegyik saját, rétegzett történetet hordoz: egyes esetekben az ipari termelés megszűnése hagyott maga után használaton kívüli épületeket, máshol a honvédelemhez, a mezőgazdasághoz vagy vallási közösségekhez kötődő funkciók vesztették el korábbi jelentőségüket.

E helyszínek gyakran olyan szokatlan, ma már nem reprodukálható, egyedi términőségeket kínálnak, amelyek egyszerre nehezítik és inspirálják az újrahasznosítást. Különlegességük arra ösztönöz, hogy ne csupán az épületet magát, hanem annak városi és társadalmi szerepét is újraértelmezzük.

Kutatásomban az általam „modern romoknak” nevezett helyek ideiglenes vagy átmeneti használatához kapcsolódó, közvetlen építészeti, illetve építészeti kontextusban értelmezhető művészeti és képzőművészeti beavatkozásokat vizsgálom. Az elhagyatott épületek időleges újrahasznosítása és belakása különösen alkalmas terepet biztosít az építészeti kísérletezés számára. Az ilyen folyamatok során létrejövő, sokszor nem konvencionális beavatkozások egyrészt segítik a hely újraértelmezését, tárgítják az építészet, a vizuális művészetek és más társművészeti ágak közötti diszciplináris határokat, másrészt kritikusan reflektálnak a megszokott építészeti gyakorlatokra.

E beavatkozások további jelentősége, hogy katalizátorként működhetnek: előkészíthetik a hosszú távú hasznosítás lehetőségét és hozzájárulhatnak az adott hely funkciójának, valamint társadalmi szerepének újrafelfedezéséhez.

Munkám két pillérre épül: az elméleti kutatást gyakorlati tapasztalatokkal támasztom alá. Az elhagyatott épületekbe tervezett és megvalósított ideiglenes beavatkozások olyan építészeti tettek, amelyek ráirányítják a figyelmet a térben rejlő értékekre és lehetőségekre, egyúttal felvillantják a későbbi hasznosítás perspektíváját.

Reményeim szerint munkám gyakorlati szinten is visszaigazolja azt a szemléletet, amelyet a szlovén Vidic Grohar építésziroda fogalmazott meg saját munkájukkal kapcsolatban a ljubljanoi Városi Erőmű történeti gépházának átalakításakor: „Minimális beavatkozás, mint a változás hordozója.”

Rátgéber László

Építészmérnöki Kar

Középülettervezési Tanszék

Falakba zárt szellemek - emlékházak az európai kortárs építészetben

Az ezredfordulót követően megjelenő új muzeológia mélyreható változásokat eredményezett a múzeumok intézményében. Ma is szemtanúi vagyunk e folyamatnak, melyben a múzeumok korábbi századokban megrekedt gyűjteményezési, bemutatási rendje és didaktikája egyre jobban fellazul, átalakul. Mára a múzeumok a műtárgyak megőrzésén és bemutatásán túl számtalan új térhasználati, installációs, technológiai, vagy narratív eszközzel kívánják erősíteni társadalmi szerepüket, amely azok építészeti megformálásukra is hatással volt. E paradigmaváltás eredményeképpen jelentek meg az úgynevezett látványtárak is: az egyes múzeumok gyűjteményi központjaikat megnyitották a publikum felé, a tömörpolcos terekbe beköltöztek a kiállítások, eddig nem tapasztalt téri szituációkban kerülhettek testközelbe a látogatók a műtárgyakkal. Ezzel egyidőben a wunderkammer mint kultúrtörténeti toposz is egyre gyakrabban fellelhető az építészeti közéletben, számtalan építészeti projekt hivatkozik rá kiindulási előképként, mely a fogalom kiüresedését, jelentésvesztését fenyegeti. A wunderkammer (csodakamra) a 16-17. századi magángyűjtemények típusa, amely a mai intézményesült múzeumok elődjének tekinthető. Célja a világ teljességének, egyfajta mikrokozmosznak a leképezése volt egyetlen helyiségben vagy bútorban. Álláspontom szerint vizuális-esztétikai programjukban erős hasonlóság fedezhető fel e két - időben egyébként nagyon messze eső - dolog, a kortárs látványraktárak és az egykori wunderkammerek között, a mélyebb szellem-intellektuális összefüggések kimunkálása, vagy megcáfolása pedig jelen kutatás egyik fő célkitűzése. Hipotézisem szerint annak ellenére, hogy számos építész hivatkozik a wunderkammerre előképként, az abból átranzformált építészeti gesztusok, terek nem vezethetők vissza a kora újkori magángyűjteményekhez, az sokkal inkább szolgál vélt, mint valós kiindulási pontként. A tanulmány kitér a jelenség háttérében húzódó muzeológiai gyakorlatokra és kérdésekre, de a rájuk adott építészeti válaszok kerülnek a kutatás fókuszába. A tanulmány nem vállalkozik a kora újkori gyűjtemények és azok adaptálhatóságának maradéktalan bemutatására, hanem rövid elméleti áttekintést követően az elmúlt évtizedekben megvalósult látványtárak elemzésével fejti ki a témát. Olyan épületek vizsgálata, mint a londoni V&A East Storehouse nem csak a szakmai diskurzust színesíti, de rálátást kínál, hogy miként, vagy miként nem hasznosítható újra a wunderkammer analógia a kortárs múzeumépítészetben.

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK I.

Ágoston Dorottya

Gépészmérnöki Kar

Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

Sportmozgások vizsgálata edzés és versenyzés közben - helyszíni, terepi vizsgálatok feltételeinek megteremtése

A mozgásvizsgálat területén - legyen szó sportteljesítmény-fokozásról, orvostudományi alkalmazásokról vagy rehabilitációról - a mérnöki megközelítés szerepe megkerülhetetlen. Új algoritmusok, mérési módszerek és objektív mérőszámok kidolgozása nélkül a mozgás kvantitatív elemzése nem valósítható meg. A markeres mozgásvizsgálati rendszerek a terület gold standardjének számítanak, mivel milliméter alatti pontosságot biztosítanak a mozgás rögzítése során. Jelen munka során markeres mocap rendszert alkalmaztam egyfelől gyógytornászok által használt alsóvégtag állapotfelmérő tesztjeinek kvantitatív, milliméter alatti pontosságú kiértékelésére, új mérőszámok bevezetésére. Továbbá szinkronkorcsolyázók esetében a jégen kívüli sportágspecifikus statikus (fecske) és dinamikus (forgás) egyensúlyozási feladatainak kinematikai elemzésére.

Mindemellett a markeres mozgásvizsgálat számos hátránnyal rendelkezik: rendkívül költséges, időigényes és szigorúan kontrollált laborkörnyezethez kötött. További korlátot jelent, hogy a testre helyezett markerek befolyásolhatják a természetes mozgásmintát, így zavart vihetnek a mérési eredményekbe. Ezen limitációk hatására az utóbbi években, a mesterséges intelligencia és a képfeldolgozás gyors fejlődésével, egyre nagyobb teret nyernek a marker nélküli, kameraképeken alapuló emberi pózfelismerő rendszerek, amelyek ígéretes alternatívát jelentenek a mozgásvizsgálat gyakorlati alkalmazásaiban. Jelen kutatás során az OpenPose szoftver alkalmazásával egy egyszerű, objektív és költséghatékony módszer került kidolgozásra a kickbox alaprúgások kivitelezésének kiértékelésére. Az eljárás lehetővé teszi a kezdő és haladó sportolók közötti kivitelezési különbségek feltárását, ezzel támogatva az edzői munkát.

Bertók Zsanett

Gépészmérnöki Kar

Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

Mintavételes mechatronikai rendszerek szabályozási lehetőségei

A modern mechatronikai berendezések működése leggyakrabban villamos gépek mozgásszabályozására épül. Ezek közül egyre szélesebb körben alkalmaznak nemlineáris karakterisztikával rendelkező gépeket, például állandómágneses szinkrongépes (PMSM) hajtásokat, ami a hagyományos lineáris szabályozási módszerek közvetlen alkalmazását kizárja. E problémára kínál megoldást a visszacsatolásos linearizáció, amely egy korszerű nemlineáris szabályozási eljárás és lehetővé teszi a vizsgált rendszer egzakt, globálisan érvényes linearizálását. Ennek köszönhetően a lineáris szabályozási és állapotmegfigyelési módszerek a teljes mérési tartományon alkalmazhatók válnak. Jelen kutatás fő célja a visszacsatolásos linearizáció PMSM hajtásokra történő alkalmazhatóságának vizsgálata.

Ehhez kapcsolódóan kidolgozásra került egy újszerű állapotmegfigyelési módszer, amely a PMSM hajtások visszacsatolásos linearizációján alapul. Az új megközelítésben a linearizáló tag megegyezik a villamos hajtásoknál szinte minden esetben alkalmazott szétcsatoló taggal, amely lehetővé teszi a PMSM hajtás állapotainak lineáris megfigyelését. Az így kapott szétcsatolás-alapú állapotmegfigyelő alkalmazásával olyan érzékelőmentes szabályozási eljárás alakítható ki, amely a teljes fordulatszám-tartományban megbízhatóan működik, szemben a jelenleg iparban elterjedten használt módszerekkel.

Mivel az új eljárás lehetővé teszi tetszőleges, akár lineáris, megfigyelési és állapotbecslési módszer alkalmazását, különböző erre alapozott megoldások - például a Luenberger- és a csúszómód állapotmegfigyelő, valamint a Kálmán-szűrő alapú állapotbecslés - is megvalósításra, majd összehasonlításra került. Továbbá kidolgozható volt a módszer terhelésbecslővel történő kiegészítése is, ami tovább növeli a rendszer robusztusságát a nem várt zavaró hatásokkal szemben.

Emellett a beszámolási időszakban vizsgálatra került a visszacsatolásos linearizáción alapuló szabályozás beágyazott környezetben történő megvalósíthatósága, amelyhez egy diszkrét idejű implementációt segítő ajánlás is megfogalmazódott PMSM hajtások számára. A javasolt módszer a linearizáció és a szabályozás számára közös, eredő erősítéseket határoz meg, biztosítva ezzel a megbízható, zajtűrő működést és elősegítve a módszer gyakorlati alkalmazhatóságát villamos motorok esetén.

Horváth Botond

Gépészmérnöki Kar

Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

Jelfeldolgozási módszerek az optimális jelszintézishez és -analízishez

A 2025-ös OGÉT konferencián bemutatott fejlesztésem célja mozgó jármű digitális árnyékának pályakövetése MaxWhere virtuális térben valós időben. Ez az alkalmazás alapjául szolgálhat egy - a jövőben szabadon fejleszthető - virtuális objektumkövető platformnak, melyben tetszőleges ipari környezet monitorozása valósítható meg. A valós járműbe helyezett GNSS helymeghatározó eszköz szolgáltatja a követéshez szükséges adatokat, melyek továbbításra kerülnek a háromdimenziós programnak, ami valós időben jeleníti meg a térképen a vizsgált jármű állapotát. M5Stack Core2 eszközzel mértem a szükséges GNSS mérővel mért adatokat, melyeket MQTT szerveren keresztül juttattam el a digitális árnyéknak.

A pontosabb pálya elérése érdekében sokszor ajánlott dinamikus szűrési eljárást használni. Jelen esetben a Kálmán-szűrőre esett a választásom, mivel rekurzív módon működik, vagyis elegendő mindig csak az utolsó eredményt figyelembe venni, nincs szükség memóriajellegre. A nyers pozíciókhoz képest a szűrt adatok sokkal simább mozgáspályát mutatnak.

A 2025-ös CINTI nemzetközi konferencián bemutattam az általam MaxWhere-ben fejlesztett, virtuális tanteremben elhelyezett Craftbot Plus Pro 3D nyomtató virtuális mását. Ehhez felhasználói felületet fejlesztettem, amely IPC-n keresztül kommunikál a szimulációval. A nyomtató mozgatása G kód feldolgozásával történik. A nyomtató fúvókájával bejárt pontokat eltárolja a program. Ezekre a pontokra egységkockákat illeszt a program, ezeket egy bizonyos mennyiség után egy csőgeometriával helyettesíti, ezekből épül fel a nyomtatvány.

A fejlesztés időszerűségét a távoktatás iránti növekvő igény is indokolta, amely felgyorsította a virtuális bemutatók és laboratóriumi szimulációk elterjedését az iskolák és egyetemek gyakorlatában. Ezek fő előnye, hogy bárhol, bármikor elérhető és sokkal olcsóbbak, mint a valódi hardvereket igénylő kísérletek, mely sok esetben megterhelő az intézmények számára. Azonban a költségek csökkentése mellett az oktatásban résztvevőkre is pozitív hatással lehetnek ezek a szimulációk. Kutatások kimutatták, hogy a 3D nyomtatás az oktatásban segíti a STEM tantárgyak tanulását, az ilyen mérnöki tevékenységek hatására a diákok könnyebben megértik például a matematikát és a fizikát. A diákok mérnöki hozzáállást és kritikus gondolkodást alakíthatnak ki. Kutatást végeztem az ország középiskoláiban, mely azt az eredményt adta, hogy szinte minden gépészettel foglalkozó szakközépiskola használ az oktatásban 3D nyomtatót, a gimnáziumok esetén ez az arány azonban nem éri el az 50%-ot. Ugyanakkor látható, hogy lenne rá igény, hiszen az egyetemek mérnöki szakjaira a hallgatók jelentős része ezekből az intézményekből kerül és sok gimnáziumban már használnak 3D nyomtatót.

Markó Balázs

Gépészmérnöki Kar

Gyártástudomány és -technológia Tanszék

Fém/szálerősített polimer kompozit szerkezetek forgácsképződési mechanizmusainak kísérleti vizsgálata

Napjainkban az olyan hibrid szerkezetek, mint a szénszálerősített polimer kompozit/alumínium (CFRP/Al) szerkezetek növekvő népszerűségnek örvendenek kiváló fajlagos mechanikai tulajdonságaik miatt, különösen a repülőgépiparban és más nagy igénybevételű alkalmazásokban, ahol a tömegcsökkentés és a nagy szilárdság egyidejű biztosítása kulcsfontosságú. Furatok készítésére gyakran van szükség ezen szerkezeteknél, azonban eltérő forgácsolhatósági tulajdonságuk és a számos felmerülő hibajelenség (sorja, delamináció, szálkitöredezés) miatt igen nagy kihívást jelent a megfelelő minőségű furatok készítése és olyan mérési, jelfeldolgozási módszerek alkalmazása, amelyekkel megfelelően vizsgálhatók a forgácsolás indukálta hibák, valamint azok kialakulásának mechanizmusai. Kutatásom fő célja furás során rétegek között (két lemez között) fellépő sorja és az axiális forgácsolóerő-komponens közötti összefüggések feltárása. Ennek eléréséhez a kísérletek során mért axiális forgácsolóerő-komponensből folytonos wavelet-transzformáció (CWT) módszerrel kapott idő-frekvencia diagramokat (skalogramokat) vizsgálom, amelyek alkalmasak a nem stacionárius jelek részletes elemzésére. Elemzéseim során a jel spektrális tartományát az élvonulási frekvenciához (TPF) viszonyított sávokra bontottam (az alatti, körüli és feletti tartományokra), ezzel lehetővé téve a CFRP-re jellemző rideg törési mechanizmusok (TPF körüli tartomány) és az alumíniumra jellemző képlékeny alakváltozási folyamatok (TPF alatti tartomány) elkülönítését, valamint ezek relatív hozzájárulásának vizsgálatát a teljes jelben. A rétegek közötti sorjamagasságot Keyence VR-5000 típusú 3D profilométerrel mértem, amelyet összevetettem az egyes frekvenciasávokhoz tartozó wavelet-energia sűrűséggel, így számszerűsíthető kapcsolatot teremtve az erőjel és a rétegek közötti sorja között. Az eredmények rámutatnak arra, hogy szignifikáns kapcsolat áll fenn a sávspecifikus wavelet-energia sűrűség és a rétegek közötti sorjamagasság között, amely összefüggés stabilan megfigyelhető különböző forgácsolási paraméterek mellett is. Ez lehetőséget teremt a forgácsolóerőn alapuló, valós idejű hibadetektálásra, valamint a CFRP/Al szerkezetek fúrási folyamatának hatékonyabb monitorozására és optimalizálására. A módszer hozzájárulhat a gyártási minőség javításához és a selejtarány csökkentéséhez a repülőgépipari alkalmazásokban, valamint megalapozhatja intelligens, szenzor alapú folyamatfelügyeleti rendszerek fejlesztését.

Mező Péter Bálint

Gépészmérnöki Kar

Gyártástudomány és -technológia Tanszék

Mesterséges intelligencia alapú folyamatfelügyeleti megoldások fejlesztése CNC gyártási műveletekhez

A gyártás digitalizációjával párhuzamosan terjedő mesterséges intelligencia-alapú megoldások prediktív modellekkel támogatják az optimális forgácsolási paraméterek meghatározását a folyamat közben mért állapotjellemzők alapján. Mivel a megmunkálást időben változó belső és külső tényezők befolyásolják, e hatások kezelése valós idejű felügyeletet, szenzorintegrált mérőrendszereket és folyamat közbeni beavatkozásokat igényel. Kutatásom célja MI-alapú folyamatfelügyeleti és -szabályozási algoritmusok kidolgozása CNC műveletekhez, a vezérlő belső regiszterei, valamint rezgés- és erőmérő szenzorok adatai alapján, valós idejű, adatvezérelt beavatkozással.

Az irodalomkutatás során áttekintettem a folyamatfelügyeleti rendszereket, beleértve a jelenleg elérhető szoftvereket és ipari megoldásokat. Részletesen vizsgáltam az MI-alapú módszerek és alkalmazások lehetőségeit, erősségeit és gyengeségeit. Elemeztem a forgácsolási műveletek monitorozására alkalmas érzékelőtípusokat, valamint a CNC gépekben alkalmazott PLC-k felépítését és funkcióit. Az adatvezérelt, gépi tanuláson alapuló algoritmusok fejlesztéséhez megvizsgáltam a vezérlőrendszerek, különösen a programozható logikai vezérlők (PLC-k) MI-alapú programozhatóságát és részletes áttekintést készítettem az adatfeldolgozás és kommunikáció informatikai háttéréről, előnyeiről és korlátairól.

Az irodalomkutatási tapasztalatokra építve egy meglévő adatsor alapján egy ANN-alapú (Artificial Neural Network) szerszáméltartam modellt dolgoztam ki, amelyről egy folyóiratcikkben számoltam be (ANN-based Tool Life Prediction in Micro-Milling Using an Experimental Dataset from Central Composite Design). Emellett a programozható logikai vezérlők (PLC-k) LLM alapú programozhatóságát vizsgáltam különböző megközelítésekben. Ennek eredményeit az alkalmazott mesterséges intelligencia típusa és az ipari felhasználás célja szerint rendszerezve egy áttekintő cikkben (Recent Advances in PLC Programming Using Artificial Intelligence and Large Language Models) foglaltam össze. Előkísérleteket végeztem algoritmusok tanításához szükséges adatkészletek összegyűjtéséhez és az adatok előfeldolgozásához, a forgácsolási folyamatot pontosabban leíró jellemzők kiválasztásához és a tanulási folyamat megkezdéséhez is.

Jelenleg az első kísérletek eredményeinek megerősítésére kiegészítő méréseket tervezek elvégezni, amelyet akusztikus emisszió-, piezoelektromos rezgésmérő szenzorok és zajmikrofonok egészíthetnek ki. Ezen kívül tervezem a PLC-k MI-alapú programozhatóságának gyakorlati alkalmazását, valamint a szerszámgépek valós idejű adat lekérdezését és kiértékelését megvalósítani. További jövőbeli célkitűzéseim az ígéretes gyártási folyamatok kiválasztása ipari partnerek bevonásával, a releváns állapotjellemzők és szenzorok meghatározása, valamint gépi tanulási modellek fejlesztése.

Balog Boglárka

Gépészmérnöki Kar

Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék

Nemnewtoni folyadékok alkalmazása lengéscsillapító rendszerekben

A nyírásra vastagodó folyadékok különleges reológiai viselkedésük miatt egyre nagyobb figyelmet kapnak az adaptív mérnöki rendszerekben, ugyanakkor ezen anyagok megbízható előállítása és kvantitatív jellemzése továbbra is kihívást jelent. Az ilyen rendszerek tipikusan kolloid szuszpenziók, amelyek makroszkopikus tulajdonságai erősen függenek az előállítás módjától, az alkalmazott anyagoktól, a koncentrációtól és a kialakuló mikroszerkezettől. Emiatt elengedhetetlen olyan előállítási, mérési és jellemzési protokollok kidolgozása, amellyel ezen nemnewtoni folyadékok tudományos színvonalon vizsgálhatók. A kutatás első lépéseként olyan előállítási és reológiai mérési módszert dolgoztam ki, amellyel a folyadékok reológiája reprodukálható módon beállítható és mérhető. A megszerzett ismeretek lehetőséget biztosítottak a szakirodalmi eredmények értékelésére és azok hiányosságainak feltárására.

A méréseket kontrollált nyírási sebességű (CSR) rotációs vizsgálatokkal végeztük, amelyek során a viszkozitás nyírási sebességfüggése alapján a reológiai görbék három jellegzetes tartományra voltak bonthatók: egy nyírásra vékonyodó szakaszra alacsony, egy nyírásra vastagodó tartományra közepes, valamint egy ismételt nyírásra vékonyodó szakaszra magas nyírási sebességek mellett. A mérési eredményekből meghatároztam a jellemző reológiai mérőszámokat, mint a kritikus és maximális viszkozitás, a hozzájuk tartozó nyírási sebességek, valamint a dilatáns effektus mértéke. Ezen mennyiségeket az összetétel és a hőmérséklet alapján jellemezve erős korrelációk tapasztalhatók, amelyek jó irányelveket mutatnak a kívánt reológia megvalósításához.

A folyadékokkal hidraulikai méréseket is végeztünk. A mért térfogatáram-nyomáskülönbség jelleggörbéket areológiai mérési adatok alapján számított analitikus és numerikus áramlástan szimulációkkal vetettük össze. A kísérleti vizsgálatok egy saját tervezésű és építésű tesztpadon történtek, amely lehetővé tette akár kis mennyiségű (~2dl) nyírásra vastagodó folyadék csőáramlásának mérését kontrollált hőmérséklet és térfogatáram mellett. Az összevetések jó egyezést mutattak. Az eredmények igazolják az alkalmazott módszertan megbízhatóságát és hozzájárulnak a nyírásra vastagodó folyadékok áramlási viselkedésének pontosabb leírásához, valamint azok mérnöki rendszerekben történő modellezésének és alkalmazásának megalapozásához.

Friedrich Péter

Gépészmérnöki Kar

Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék

Másodlagos áramlások szerepe a kardiovaszkuláris betegségek patogenezisében

A gépészetben másodlagos áramlások főként csőáramlásokban fordulnak elő. A másodlagos áramlások kialakulása és csillapodása jól ismert, mint ahogy csökkentésének lehetőségei is. Az agyi erek geometriája azonban nem olyan szabályos, mint az általános gépészeti esetekben. A keresztmetszet nem tökéletesen kör alakú, a keresztmetszet nagysága is változó. A kanyarok egymáshoz közel találhatók, görbületi ívük és orientációjuk is erősen változatos. Nincs két egyforma páciens. A kialakult áramlás komplexitását tovább növeli a szívverés okozta pulzáló hatás.

A kutatási program célja megismerni a kialakuló másodlagos áramlások és az érszakasz geometriájának kapcsolatát. A tanszéki kutatócsoport hipotézise, hogy a másodlagos áramlások szerepet játszanak az aneurizma kialakulás folyamatában. Az érszakasz geometriai jellemzői leírhatóak a középvonal segítségével. A középvonal torziója és görbületi sugara a vizsgált mennyiség, valamint a beírható gömb sugara, ami az érszakasz keresztmetszetének nagyságával arányos. Ezen geometriai jellemzők számolhatóak orvosi felvételekből, áramlástani szimuláció nélkül is. Amennyiben sikerült a középvonal jellemzők és az aneurizma kialakulás között kapcsolatot találni, orvosi környezetben áramlástani szimulációk nélkül lehet gyorsan diagnózist felállítani.

A másodlagos áramlások vizsgálata egyszerűsített, mesterségesen előállított geometriákon keresztül történik. A geometriák automatikusan kerülnek előállításra, saját készítésű Python kód segítségével. A geometriák kör keresztmetszetű csövek, melyeken kanyarok találhatók. A cső átmérője és a kanyarok görbületi sugara valódi geometriák értékei alapján kerül kiválasztásra. Az előállított geometriákon CFD szimulációk kerülnek futtatása. A kiértékelés saját fejlesztésű Python kód segítségével történik, mely elvégzi a sebesség felbontását a főirányú és másodlagos komponensekre. A másodlagos sebességtér akár tovább bontható radiális és cirkumferenciális komponensekre is.

Kalmár Péter

Gépészmérnöki Kar

Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék

Akusztikusan gerjesztett kavitációs buborék nemlineáris alakstabilitásának vizsgálata nagy teljesítményű GPU programozás alkalmazásával

A doktori kutatási program második félévében (2025. 09. 01 - 2026. 01. 31.) jelentős eredmények születtek a korábbi kutatási szakaszok lezárása és az új numerikus algoritmusok fejlesztése terén. Az első félévben a CMFF'25 konferenciára benyújtott anyagot sikeresen kiegészítettük és publikáltuk a CMFF'25 Special Issue of the European Journal of Engineering Mechanics című folyóiratban, „Quantitative analysis of surface mode oscillations of acoustically excited microbubbles” címmel. Ez a közlemény fontos alapvetést jelent a buborékok felületi oszcillációjának kvantitatív leírásához.

Ugyanakkor a kutatási tervben szereplő, a Journal of Fluid Mechanics (Q1) folyóirathoz benyújtott átfogó tanulmány bírálati folyamata elhúzódott. A nagyszámú, jelentős részben nemzetközi társszerzővel való koordináció és az iteratív szakmai egyeztetések miatt a benyújtási szakasz a tervezettnél több időt vett igénybe; a kézirat jelenleg bírálat alatt áll. Ezen folyamat miatt a kutatás a vártnál lassabb ütemben haladt, így a részletes dinamikai elemzések jelenleg is folyamatban vannak.

A félév legfőbb szakmai produktuma a saját fejlesztésű, nagy teljesítményű GPU-alapú megoldó felkészítése a multistabilitások modellezésére és a bifurkációs vizsgálatok elvégzésére. A meglévő C++ kódbázist kiegészítettem egy olyan algoritmussal, amely alkalmas a paraméterterben végzett szisztematikus „söprésre”. Ez a megoldás lehetővé teszi, hogy az egymást követő szimulációs pontok az előző állapotokból induljanak ki, így kirajzolva a fázistérbeli trajektóriákat és detektálva a stabil állapotokat. Az ISCAME konferencián való részvétel és a kapcsolódó publikáció nem valósult meg, mivel annak eredményei szorosan a JFM-cikk elméleti alapjaira épülnek, így közlésük a cikk megjelenéséig szakmailag még nem volt időszerű.

Kulcsár Márton

Gépészmérnöki Kar

Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék

Áramvonalas testek ellenállását csökkentő eljárások fejlesztése

Numerikus szimulációk és kísérletek megmutatták, hogy a miniatűr örvénygenerátorok (MVG-k) képesek keresztirányú átlagsebesség gradiensek (SVG) létrehozására, amelyek hatékonyan csillapítják a Tollmien-Schlichting hullámok növekedését. Ez a mechanizmus alacsony turbulenciaszint mellett képes késleltetni a lamináris-turbulens átmenetet a határrétegben. Csoportunk egy nemrégiben elvégzett parametrikus tanulmánya feltárta, hogy a fent említett kísérletekben mért örvénygenerátor-konfigurációk nem voltak optimálisak. Ebből adódóan célunk az volt, hogy meghatározzuk az MVG-k optimális geometriai paramétereit adott távoli téri sebesség és áramlásirányú pozíció mellett. A módszertan egy hatékony modellezési keretrendszer követ, amelyet más kutatócsoport által végzett kísérletekkel validáltunk. Az alapáramlás kiszámításához háromdimenziós CFD-t és a Boundary Region egyenleteket (BRE), a stabilitásvizsgálathoz pedig a BiGlobal térbeli stabilitási egyenleteket kombinálja. A kapott sajátértékeket ezután az e^N módszerben használjuk fel az átmenet áramlásirányú helyének előrejelzésére. Az optimalizáció célja a lamináris-turbulens átmenet legtávolabbi áramlásirányú helyének megtalálása, a TS-hullámok csillapítására összpontosítva, miközben a nagyfrekvenciás zavarok növekedését alacsony szinten tartjuk. Az MVG-k geometriai tulajdonságainak optimalizálásához Bayes-féle megközelítést alkalmazunk. Két optimalizációs kampányt folytattunk le: egy kisebb léptékű három változtatott paraméterrel a módszer alkalmazhatóságának ellenőrzésére és egy nagyobb léptékű, amelyben az MVG szélességén kívül minden geometriai paramétert változtattunk. Végül a Pareto-frontról kiválasztott legígéretesebb pontokat tovább elemezzük, hogy jobban megértsük azokat a mögöttes fizikai mechanizmusokat, amelyek javítják a stratégia hatékonyságát.

Nagy Dániel

Gépészmérnöki Kar

Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék

Akusztikusan gerjesztett több-buborékos rendszer alakstabilitásának vizsgálata

Az akusztikusan gerjesztett folyadékokban kialakuló kavitációs jelenségek kulcsszerepet játszanak a szonokémiai alkalmazásokban, mivel a buborékok összeomlása során extrém fizikai körülmények alakulnak ki. A kémiai reakciók hatékonysága szempontjából alapvető fontosságú, hogy az összeomló buborékok a lehető legnagyobb mértékben megőrizték gömbszimmetriájukat, amit a több-buborékos rendszerekben fellépő kölcsönhatások jelentősen ronthatnak. Jelen kutatás célja ezen kölcsönhatások numerikus vizsgálata, valamint olyan módszerek kidolgozása, amelyek alkalmasak a buborékelrendezések optimalizálására.

A munka során egy egyszerűsített numerikus modell került alkalmazásra és továbbfejlesztésre, amely tengely mentén elhelyezkedő buborékok dinamikáját és kölcsönhatását írja le és képes előre jelezni a buborékösszeomlások morfológiáját. Az összeomlás morfológiája alatt azt értjük, hogy az összeomlás során kialakul-e a buborékon áthatoló nagysebességű folyadéksugár (bubble jet). A modell paraméterezése és validációja szakirodalmi adatok, valamint direkt numerikus szimulációk (DNS) alapján történt, utóbbiak az ALPACA áramlásmegoldó alkalmazásával készültek. A DNS-szimulációk referenciát szolgáltatnak a nyomáscsúcsok, az alakdeformáció és a buborékfelületen kialakuló aszimmetriák vizsgálatához, valamint az egyszerűsített modell megbízhatóságának értékeléséhez.

A szimulációs eredmények kísérleti adatokkal való összevetése azt mutatja, hogy a fejlesztett modell képes az összeomlás morfológiájának előrejelzésére lézerrel létrehozott buborékpárok és buborékhármasok esetén is, ezzel a modell validáltnak tekinthető. Ezzel párhuzamosan egy saját fejlesztésű optimalizációs módszertan került kidolgozásra, amely az alakstabilitást jellemző célfüggvény minimalizálásán alapul és jelenleg néhány buborék tengely menti elrendezésének optimalizálására alkalmazható. Az eredmények alapján megfelelő buborékelrendezéssel az alakdeformáció mértéke számottevően csökkenthető. A kidolgozott numerikus és optimalizációs keretrendszer megalapozza nagyszámú buborékot tartalmazó szonokémiai rendszerek jövőbeli, GPU-alapú vizsgálatát és optimalizálását.

GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK II.

Szalainé Kaczkó Orsolya Ibolya

Gépészmérnöki Kar

Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

A magyarországi hulladékkezelés karbonsemlegességének és körforgásos gazdaságba illesztésének vizsgálata az életciklus - értékelés módszerével

Ma a klímaváltozás a világ legjelentősebb környezeti kihívása, így kutatásom során az aktuális magyarországi hulladékgazdálkodási helyzet felmérése mellett olyan kezelési gyakorlatok azonosítása történt meg, amik kedvezően befolyásolják a klímaváltozásra gyakorolt hatásokat. A körforgásos gazdaságba illeszthető, az Európai Unió előírásainak megfelelő scenáriókat dolgoztam ki, amelyek környezeti fenntarthatóságát az életciklus-értékelés (LCA) módszerével elemeztem. A kezelésre váró hulladékpotenciál felmérése során szükséges a pontos hulladékmennyiség és összetétel meghatározása. Az adatgyűjtés során akadályt jelentett a különböző adatforrások (KSH, OKIR, EUROSTAT) harmonizációjának hiánya, emiatt a megfelelő adatminőség nem garantálható, ami növeli az eredmények bizonytalanságát. Az adatminőség javításának lehetőségére átfogó irodalomkutatást végeztem, illetve az eredményekre gyakorolt hatását érzékenységvizsgálattal elemeztük. A szisztematikus szakirodalom-kutatás során a blockchain rendszereket azonosítottam, mint az LCA keretrendszerébe jól adaptálható fejlett adatgyűjtési megoldást. Az adatminőség hatásának vizsgálata egy hulladékválogató telep adatai alapján történt, amely során az újrahasznosított széntartalmú üzemanyagok üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátás-csökkentési eredményeit vizsgáltuk. Az érzékenységvizsgálat bizonyította a lehető legpontosabb adatok szükségességét, mivel a bemeneti paraméterek 1%-os változása ÜHG kibocsátásának csökkentésében legfeljebb kétszeres relatív változást eredményezett. A kutatás során ezt követően a körforgásos gazdaságba illeszthető scenáriók kidolgozásra kerültek, melyeket a megfelelő célszoftverekben (LCA for Experts, EASETech, openLCA) modelleztünk. Ezt követően a teljes hazai rendszer elemzése történt meg, amelyhez a 2025-ös helyzetet a 2035-ben az újrahasznosítás felé elmozduló fejlett rendszerekkel hasonlítottuk össze, ahol egy tervezett hulladékegyesítő létesítmény is a rendszerbe került. Pesszimista, realista és optimista forgatókönyvek kerültek kidolgozásra, amelyek egy újszerű megközelítéssel készültek, figyelembe véve az Európai Unió hulladékgazdálkodási keretirányelv célkitűzéseinek végrehajtási arányát. A 4196 kt szilárd települési hulladék kezelése már önmagában is előnyös a legtöbb környezeti szempontból, mivel primer nyersanyagokat és fosszilis alapú energiát vált ki, ami a jövőbeli forgatókönyvekben további 1,5-4-szeres javulást jelent a különböző hatáskategóriákban. A jelenlegi rendszerben 1 tonna nedves hulladék éghajlatváltozásra gyakorolt hatása 112 kg szén-dioxid-egyenérték, ami a jövőbeli forgatókönyvekben jelentősen csökken, elérve a szén-dioxid-semlegességet és további 126-313 kg szén-dioxid-egyenérték elkerülését. Ezek az eredmények az infrastruktúra fejlesztése mellett tudatos fogyasztói magatartást is igényelnek.

Döbrentei Sándor

Gépészmérnöki Kar

Gép- és Terméktervezés Tanszék

Vasúti kerék-sín kapcsolat csúszva gördülő üzemállapotának termomechanikai analízise

Ebben a félévben a kritikus sík meghatározására szolgáló összefüggés pontosítása volt a középpontban, melynek eredményeképpen nem csak egy adott orientáció körül alkalmas finomított számításra, hanem más szöghelyzetek körül is, amennyiben az előzetes számítással meghatározott paraméter térkép alapján a paraméter értéke több orientációnál is az előre meghatározott tartományon belül található. Az eredmények alapján kidolgozásra került egy a mérnöki gyakorlatba is átültethető módszertan a repedés szempontjából kritikus sík meghatározására, melyből egy magyar nyelvű konferencia cikk született és bemutatásra került a Géptervezők és Termékfejlesztők Szemináriumán 2025. november 13-án Miskolcon. Az eljárás validálására kiírt diplomamunkából egy BSC-s hallgató sikeresen megvédte dolgozatát. A munka során ikertárcsás méréssel vizsgáltuk a tárcsák tönkremeneteli módját különböző súrlódási tényezők esetén, majd a kísérletet végeselem környezetben reprodukálva meghatározásra került a kritikus sík orientációja, mely kiváló egyezést mutatott a kísérletek során tapasztalt felületi anyagleválásokkal. Az ösztöndíjas időszak hátralévő részében szintén kiírásra kerül majd szakdolgozat és diplomaterv téma, melynek keretei között további üzemállapotok és anyagpárosítások esetén vizsgálánk a módszertan hatékonyságát. Emellett fontos eredmény, hogy az újonnan kidolgozott kritikus sík paraméter találati arány meghaladja az eddig széles körben használt paraméterekét, valamint minden terhelési esetben jól alkalmazható, míg a korábbi paraméterek csak bizonyos esetekben működtek jól. További előnyként fontos megemlíteni, hogy a jobb találati arányt szűkebb szögtartományokkal éri el és csak statikus vizsgálattal meghatározható anyagparamétereket tartalmaz, így használatához nincs szükség előzetese fárasztóvizsgálatok elvégzésére az adott anyag esetében. Ezeknek az eredményeknek a publikálása megtörtént, a benyújtott cikk bírálati szakaszban van az Engineering Failure Analysis folyóiratban. Az ösztöndíjas időszak hátralévő részében az új és pontosabb paraméter segítségével egy új tönkremeneteli térkép elkészítése fog történni vasúti kerék csúszva gördülő üzemállapotára, melynek alapján meghatározhatók lesznek azok a csúszási tartományok, amelyek a kerék tönkremenetele szempontjából kedvezőbbek. Ezen eredmények alapján meghatározható egy olyan fékezési görbe, amely a kereket a kedvezőbb csúszási állapotokban tartja, így hosszabb kerékélettartamot eredményez. Ezek az eredmények egy már korábban a témában megjelent publikáción folytatásaként publikálhatók a Tribology International folyóiratban.

Erdős Dávid

Gépészmérnöki Kar

Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

Lakóépületállomány modell továbbfejlesztése és paraméteranalízise

Kutatásom első szakaszában a magyarországi lakóépület-állományra vonatkozó, rendelkezésre álló dinamikus szimulációs modellek összegyűjtését és kritikai értékelését végeztem el. Feltártam a modellek hiányosságait, elvégeztem a szükséges korrekciókat, valamint kiegészítettem az állományt a hiányzó épületfizikai modellekkel. Az így létrehozott, egységesített modellkészleten átfogó minőségellenőrzést és finomhangolást hajtottam végre, különös tekintettel az épülethasználati jellemzőkre.

Korábbi eredményeimre építve elemeztem a nemzetközi dinamikus szimulációs gyakorlatot és azt összevettem a hazai módszertannal. Azonosítottam azokat a módszertani elemeket és modellezési megoldásokat, amelyek adaptálásával növelhető a számítási eljárások pontossága és a modellek megbízhatósága, ezáltal javítva a lakóépület-állomány modellezésének minőségét és alkalmazhatóságát. Részletes szakirodalmi áttekintést készítettem a hazai és nemzetközi épülettípológiákról, feltérképeztem és összehasonlítottam a releváns épülettípológiai adatbázisokat, valamint áttekintettem a lakóépület-állomány modellezésének elterjedt módszertani megközelítéseit.

Az épületfizikai modellek teljes körű kialakítását követően kiválasztott típusépületekre részletes épületgépészeti modelleket fejlesztettem, amelyeket különböző bemenő paraméterek mellett vizsgáltam. Célzott irodalomkutatással azonosítottam a legnagyobb hatású befolyásoló tényezőket, majd egy kiválasztott típusépület esetében átfogó paraméteranalízist végeztem a felmérési adatok bizonytalanságának és a modellérzékenység feltárására. Az eredmények alapján továbbfejlesztettem a szabványos épülethasználaton alapuló modellt és igazoltam a részletes felmérési adatok alkalmazásának hozzáadott értékét. A vizsgálatok kiterjedtek sztochasztikus modellezési megközelítésekre, valamint különböző időjárási scénáriók és primerenergia-átalakítási tényezők hatására is.

A felújítási stratégiák megalapozásához definiáltam a lehetséges részleges és mélyfelújítási eseteket és meghatároztam az érintett épületfizikai és épületgépészeti paramétereket. Ezt követően valamennyi típusépületre kidolgoztam a részleges és mélyfelújítási scénáriók dinamikus szimulációs modelljeit, majd a kapott eredményeket részletes minőségellenőrzésnek vettem alá. A felújítási scénáriók eredményeit állományszintre skálázva is elemeztem és összevettem a lakóépület-állomány jelenlegi, statisztikai adatokon alapuló energiafelhasználásával. Vizsgáltam a felújításokhoz kapcsolódó elektrifikáció hatását a 2025-2050 közötti éves villamosenergia-felhasználásra különböző felújítási ráták és technológiai mixek mellett, továbbá órás bontású eredmények alapján értékeltem a villamosenergia-hálózat csúcsterhelésének várható alakulását, figyelembe véve a klímaváltozás hatásait is.

Kiss Gyula Richárd

Gépészmérnöki Kar

Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

Épülettechnikai rendszerek üzemvitelének energetikai optimalizálása

A távhőrendszerek dekarbonizációjának alapvető célkitűzése a megújuló energiaforrások részarányának növelése a hőtermelési mixben. Legyen szó geotermikus energiáról, biomasszáról vagy hulladékhőkről, ezen alacsony hőmérsékletű források hatékony rendszerszintű integrációjának elengedhetetlen feltétele a primer visszatérő minél nagyobb mértékű lehűtése. A visszatérő hőmérséklet minimalizálása közvetlenül növeli a hőtermelők hatásfokát és a felhasználható energia mennyiségét, ezért a távhőközpontok üzemének pontos ismerete és optimalizálása kulcskérdéssé vált. Munkám során a hőközpontok működését vizsgáltam különböző szabályozási stratégiák és gépészeti kialakítások figyelembevételével, szimulációs környezetben.

A kutatáshoz kidolgozott dinamikus modell lehetőséget ad a hőközpontok viselkedésének elemzésére a valós üzemben fellépő tranziensek, például a fogyasztói oldali terhelésingadozások és a hálózati üzemvitel során. A vizsgálat nem szorítkozik a hagyományos, állandósult állapotok elemzésére, hanem a gépészeti kialakítások és a szabályozási megoldások közötti kölcsönhatásokat vizsgálja. A szimulációk során különféle hidraulikai kapcsolásokat, többek között két és három hőcserélős megoldásokat teszteltem, elemezve, hogy az eltérő rendszerkialakítások miként képesek csökkenteni a primer oldali visszatérő hőmérsékletet.

Az eddigi eredmények rávilágítottak, hogy a három hőcserélős kialakítások a jelen állás szerint kedvezőbb üzemi jellemzőket mutatnak, mint a két hőcserélős rendszerek, mivel alacsonyabb visszatérő hőmérsékletet tesznek lehetővé. A kutatás során megvizsgálásra került a használati melegvíz (HMV) cirkuláció hatása is, amiben megállapítható, hogy a cirkulációs hálózat kialakítása és a cirkuláltatott közeg mennyisége téli üzemállapotban csak csekély mértékben befolyásolja a primer visszatérő hőmérsékletet, nyári időszakban azonban érdemben megemeli azt, amennyiben feleslegesen sok a keringtetett mennyiség. Emiatt a primer energiahatékonyság megőrzése érdekében elengedhetetlen a cirkulációs körök pontos beszabályozása a teljes épületállományban. Továbbá a szimulációk rámutattak arra is, hogy a jelenleg alkalmazott HMV tárolók jelentősen túlméretezettek, így a jövőben a beépítési kapacitásuk ésszerűen csökkenthető, ami kisebb helyigényt és alacsonyabb készenléti veszteségeket eredményezne.

Összességében az eredmények rávilágítottak, hogy a gépészeti kialakítás és a szabályozási paraméterek összehangolása nélkül a rendszer hajlamos az instabilitásra, ami a visszatérő hőmérséklet emelkedéséhez vezethet, továbbá a felhasználóknak is okozhat kellemetlenségeket. A vizsgálatok jelen állása szerint a szimuláció alapú kiértékelés olyan objektív eszköz lehet, amely közvetlenül segíti az üzemeltetőket a meglévő rendszerek finomhangolásában és jó alapot nyújt a hőközpontok korszerűsítéséhez is, ezzel elősegítve a megújuló energiaforrások befogadására alkalmas, korszerű távhőhálózatok kialakítását.

Kocsis Kende János

Gépészmérnöki Kar

Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

Energiaközösségek üzemvitelének fejlesztése

A megújuló energiaforrások elmúlt években bekövetkezett nagymértékű növekedésével párhuzamosan megemelkedett a villamosenergia rendszerek frekvenciaszabályozási igénye, illetve a hozzá tartozó piacok (FCR, aFRR, mFRR, stb.) ár ingadozása is. Ezen piacokon való részvétel sikeressége azonban szoros összefüggésben áll a rendelkezésre álló előrejelző rendszerek pontosságával, illetve a matematikai optimalizációs modellek alkalmazásával. Ezen eszközök elengedhetetlen részei az energia-, kapacitás-, avagy kiegyenlítői piacokon való részvételnek azok volatilitása miatt.

Az őszi félév során elkezdett kutatómunkám ezen matematikai optimalizációs modellek, illetve Machine-és Deep learning gépi tanulás alapú előrejelzési rendszerek fejlesztésére irányul a villamosenergia-piaci részvétel optimalizálása céljából. A kutatás során elsőként a Python és a Julia programozási nyelvek alkalmazását kellett elsajátítanom, mint alapvető eszközöket a modellfejlesztéshez.

Az ismereteim elmélyítésének érdekében kimerítő irodalomkutatást végeztem a villamosenergia-piacok szerkezetével és működésével kapcsolatban, beleértve az energiapiacokat, szabályozási piacokat (FCR, aFRR, mFRR és RR), valamint a kapacitáspiacokat. Vizsgáltam a kereskedett termékeket, árazási stratégiákat, a magyar és európai ajánlattételi időszakokat és feltételeket, illetve a kereskedelmi módszereket mind rendszerirányítói, mind piaci résztvevői szempontból. Ezen felül alapos irodalomkutatást végeztem a Machine- és Deep learning módszerek energiapiaci alkalmazásainak területén. Tanulmányoztam a különböző predikciós modelleket, amelyek az árelőrejelzésben és a keresleti-kínálati egyensúly optimalizálásában nyújtanak segítséget. Megvizsgáltam a neurális hálózatokon alapuló megoldásokat, amelyek képesek az energiatermelés és -fogyasztás mintázatainak felismerésére és előrejelzésére.

Az irodalomkutatáson felül matematikai optimalizációs modellt fejleszték, amely már meglévő minimum, átlag és maximum aFRR kapacitáspiaci árak alapján optimalizálja a beadható ajánlatokat bevétel alapján, amellyel 15-22%-os bevételnövekedést sikerült elérni a tesztek alapján. Jelen félév során egy - számos gépi tanulási algoritmust alkalmazó - másnapi villamosenergia árelőrejelző rendszer megalkotásával foglalkozom, amely kezdetekben nagy jelentőséget tulajdonít a hazai PV termelés súlyozási szerepének.

Sziffer Bence

Gépészmérnöki Kar

Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

Energetikai célú akkumulátorok hőtechnikai modellezése

Az időjárásfüggő megújuló energiaforrások erőteljes térnyerése új kihívások elé állítja a villamosenergia-hálózatot. A kihívások egy részére megoldást nyújtanak az elektrokémiai tárolók is, melyek kiválóan alkalmasak frekvenciaszabályozásra és peak shavingre is. A széleskörben elterjedt li-ion tárolók mellett szükséges olyan új technológiák bevonása is, melyek magasabb ciklusszámot, szélesebb körben elterjedt alapanyagokat, vagy biztonságosabb üzemvitelt tesznek lehetővé. Az említett kritériumoknak megfelelnek a vanádium-redox áramlásos akkumulátorok, melyek a 20000 feletti ciklusszám mellett egymástól függetlenül skálázható teljesítményt és kapacitást biztosítanak; hőmérsékletüket azonban 5-40 °C közötti tartományban szükséges tartani. Az előírt hőmérsékletet betartandó szabályzó jelentősen csökkentheti a rendszer hatásfokát. Kutatásomban egy koncentrált paraméterű Matlab/Simulink modell segítségével vizsgáltam a konténerbe helyezett akkumulátor rendszerhatásfok-változását 4-400 kW közötti felskálázás során 10 teljesítménylépcsőben, lépcsőnként 18 cellaszám áramerősség konfigurációban, valós, perces felbontású környezeti hőmérséklet és globálisugárzás adatokkal a legmelegebb 10 napos időszakokban, állandó teljesítményű töltéssel és kisütéssel napelem termelést imitálva. A megalkotott, szakirodalomhoz képest jelentősen továbbfejlesztett modell egy saját fejlesztésű, ventilátorokból, légkondicionálóból, térfogatárammodulációból és elektrolitkeringtetésből álló hőmérséklet-szabályzót tartalmaz, kiegészülve a hőszugárzás részletes figyelembevételével. Egy adott teljesítménylépcső különböző cellaszám cellaáram konfigurációban is megvalósítható nagyobb cellaszámmal kompenzálva az alacsonyabb áramerősséget. Eredményeim megmutatták, hogy a 68-89% közé eső belső hatásfok magasabb értékei minden esetben az alacsony áramerősségű konfigurációk esetében mérhető a csökkenő ohmikus veszteségek miatt, teljesítménytől függetlenül. Ellenben a minden kiegészítő berendezés fogyasztását figyelembe vevő rendszerhatásfok 43-66% közé csökken, szintén alacsonyabb áramerősségek esetében biztosítva magasabb hatásfokot. Értéke azonban növekvő teljesítmény mellett növekszik. Alacsony akkumulátor teljesítmény esetében a hőmérséklet-szabályzó akár 17% hatásfokcsökkenést is okozhat, míg ez az érték alacsony áramerősség és magas teljesítmény estében 6,1%-ra mérséklődik. Az állandó 11%-os inverter általi veszteségek mellett, a szivattyúk fogyasztása további 1-6,5%-kal csökkenti a hatásfokot a hőmérséklet-szabályzóhoz hasonló mintát követve. Az áramerősség- és cellaszámfüggő cellákban lejátszódó termikus folyamatok részletes vizsgálata megmutatta, hogy hőtermelő folyamatok legideálisabb aránya közepes áramerősség és cellaszám esetében tapasztalható, ekkor minimalizálva a hőmérséklet-szabályzó fogyasztását. A kapott eredmények kiváló alapot biztosítanak további kutatásokhoz, melyek célja az adott termeléshez tartozó ideális teljesítmény és kapacitás meghatározása.

Papp Klaudia

Gépészmérnöki Kar

Gép- és Terméktervezés Tanszék

Fogpótlások mechanikai tervezése mesterséges intelligencia módszerek segítségével

A kutatási program első félévében a vállalt feladatoknak megfelelően a humán mandibula (alsó állkapocs) geometriai rekonstrukciójához szükséges módszertan kidolgozását és gyakorlati megvalósítását végeztem el. A kutatás célja egy olyan nagy felbontású, orvosi pontosságú CAD-modell létrehozása volt, amely alkalmas biomechanikai vizsgálatokra és végeselemes szimulációk alapjául szolgálhat fogpótlások és implantátumok mechanikai elemzéséhez.

A kutatási munka során első lépésként orvosi CT-felvételek beszerzése és feldolgozása történt meg. A metszeti képi információk alapján elvégeztem az anatómiai struktúrák értelmezését, a kulcsgeometriák kinyerését, valamint a csont szerkezeti felépítésének elemzését. A kapott adatok alapján PTC Creo környezetben felépítettem a mandibula háromdimenziós CAD-modelljét úgy, hogy a külső geometria mellett a belső szerkezeti arányok is megőrzésre kerüljenek. A modellkészítés során NURBS-alapú felületmodellezési módszert alkalmaztam, amely lehetővé tette a sima, topológiai hibamentes geometria létrehozását.

A kidolgozott módszertan eredményeként létrejött egy nagy pontosságú, rétegzett felépítésű mandibula CAD-modell, amely alkalmas végeselemes háló generálására és további numerikus szimulációk elvégzésére. Ez a modell a későbbi kutatási fázisokban a fogpótlások és implantátumrendszerek mechanikai vizsgálatának alapjául fog szolgálni.

Takács Zoltán

Gépészmérnöki Kar

Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

Épületek üzemeltetési környezetterhelésének optimalizációja épülettechnikai rendszerek okos vezérlésével

A klímacélok egyik jelentős eleme a CO₂ kibocsátás csökkentése, melyben fontos szerepet játszik a fosszilis energiaforrásról történő leválás és az elektrifikáció. Az épület szektorban a hőszivattyúk folyamatos fejlődése és terjedése lehetővé teszi, hogy fokozatosan kiváltsuk a gázkazánokat. A klímaváltozás miatt hazánkban várhatóan egyre nagyobb lesz a hűtési igény, amelyet szintén hőszivattyús rendszerekkel elégítünk ki. Ezzel párhuzamosan terjednek a napelemes rendszerek, amelyek révén az épületek nemcsak fogyasztók, hanem időszakosan termelők is lesznek. Ez alapjaiban alakítja át a villamosenergia-hálózatot és új kihívásokat teremt. Kutatásomban lakóépületeket és energiaközösségeket vizsgálok épületgépészeti szempontból, hogy feltárjam, milyen módszerekkel csökkenthető és optimalizálható a hálózat terhelése. Az épületben megjelenő hőszivattyús rendszerek egy remek lehetőséget rejtenek magukban a gépekben már többségében jelen lévő Smart Grid Ready (SGR) vezérlő funkcióknak köszönhetően. Az ilyen kontaktussal rendelkező eszközökkel megvalósítható, hogy egy külső vezérlő jel alapján az energiafelvételt átcsoportosítsuk, ezzel lehetővé téve a fogyasztó oldali szabályozást (Demand Side Management - DSM). Kutatásomban eddig elkészítettem a két leggyakrabban előforduló hőszivattyús rendszer (levegő-levegő hőszivattyú, levegő-víz hőszivattyú) dinamikus szimulációs modelljét és a hozzájuk tartozó SGR vezérlés scriptjét. A vezérlés alapjául szolgáló bemenő jel meghatározásához számos megközelítés alkalmazható. Első körben a villamosenergia hálózat CO₂ kibocsátás értékét, választottuk a vezérlés alapjául, melynél a felhasznált villamosenergia CO₂ tartamának csökkenését vártuk. Ezt követően további vizsgálatok végezhetők napelemes termeléshez igazodva, ahol a cél a helyben felhasznált megújuló energia részarányának növelése. További vizsgálati lehetőséget ad helyi akkumulátoros energiatárolás figyelembevétele, ami nagyobb rugalmasságot biztosít. Ezen vizsgálatok kibővíthetők energiaközösség szintjére, ahol további vezérlések is megvalósíthatók, amik az egyes épületek közötti energia áram optimalizálással tovább csökkenthetik a hálózat terhelését.

Kovács Márk

Gépezsmérnöki Kar

Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

Gépjármű-inverterek hőelemzése és tervezésének fejlesztése

A megújuló energiaforrások és az elektromos járművek térnyerésével párhuzamosan a gyártók egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek az elektromos inverterek élettartamának növelésére. E berendezések kulcsfontosságú elemei a teljesítményelektronikai modulok, amelyek kiemelkedő megbízhatósága elengedhetetlen a hosszú távú, üzembiztos működés biztosításához. A modulokat élettartamuk során váltakozó hőmérsékleti terhelések érik, amelyek ismétlődő deformációkat és mechanikai feszültségeket okoznak, végső soron fáradásos tönkremenetelhez vezetve.

Hőtechnikai szempontból két fő terhelési mechanizmus különböztethető meg: a passzív terhelés, amelyet a környezeti hőmérséklet ingadozása idéz elő, valamint az aktív terhelés, amely a modul elektromosan aktív alkatrészeinek (például huzalok és félvezetők) működéséből származik. E hatások vizsgálata ciklikus fárasztó mérésekkel végezhető el, amelyek jellemzően több hétig, akár hónapokig is eltarthatnak. A vizsgálatok felgyorsítása érdekében ezek a mérések részben kiválthatók végeselemes szimulációkkal.

Az előadás során bemutatom azt a szimulációs modellt, amelyet egy reprezentatív teljesítményelektronikai modul aktív és passzív ciklusú termomechanikai vizsgálatára dolgoztam ki. Ismertetem azokat a megállapításokat, amelyek lehetővé teszik a modell egyszerűsítését a számítási idő jelentős csökkentése mellett. Emellett bemutatom azokat a tervezési és hűtési elveket, amelyek hozzájárulhatnak a modul élettartamának növeléséhez. Ezek közül kiemelt szerepet kap az elektromos alkatrészek tokozásának hővezetési tényezője. A tokozóanyag hővezetési tényezőjének növelését jó hővezető képességű részecskék hozzáadásával vizsgáltam, amelynek eredményeként szimulációim alapján az egyik kritikus komponens, a forrasztási réteg élettartama akár 20%-kal is növelhető. Végül bemutatom az ipari gyakorlatban még kevésbé elterjedt folyadéksugaras hűtési módszerrel elért eredményeimet is, amelyek további lehetőséget kínálnak a rendszer megbízhatóságának növelésére.

Lévai Emese

Gépészmérnöki Kar

Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

A hidrogénenergia-hasznosítási módszereinek vizsgálata

Az üzemanyagcellák teljesítményének alapja egy kémiai reakció, melynek intenzitása erősen függ a hőmérséklettől. Emellett komponensei is érzékenyek a hőmérsékletre. Míg teljesítményoldalról a minél magasabb, komponenseinek anyagi oldaláról az alacsonyabb hőmérséklet lenne kedvezőbb. Ezt az érzékeny egyensúlyt kell megtartanunk, amikor üzemi hőmérsékletet jelölünk ki. Eddig a gyártó biztonsági tényezővel ellátott membrán határhőmérsékletével dolgoztak, a membrántechnológia fejlődése viszont ellenállóbbá tette ezeket, így hiányzott egy számítási módszer, mely kijelöli a biztonságos és jó teljesítményt adó üzemi hőmérsékletet. Ezt a pontot kerestem numerikus és kísérleti úton. A folyamat tökéletlenségéből adódóan még az optimális munkapontban is lesznek veszteségek, ezek hő formájában jelentkeznek. Ezt a veszteség hőt nehezebb kezelni, mert az alacsony fokú (low grade) kategóriába esik. Ebben a kategóriában szerepel a földi hőveszteségek több, mint 50%-a, így kezelésére globálisan szemlélve hasznos lehet egy megfelelő eszköz tervezése. A munkámban ilyen termogalvanikus hőhasznosítót terveztem és helyeztem tesztüzembe. A cellahőmérsékleti előszámítás azért is fontos, hiszen előre el lehet vele dönteni, alacsony vagy magas fokú hőhasznosítót kell illeszteni a cellára. A munka folyamata mellett különösen fontos volt azt az oktatásba is integrálni az eredményeket, így létrehoztam egy új, interaktív laborjegyzőkönyvet az üzemanyagcella vizsgáló laborhoz, illetve több diplomatervező munkáját is segítettem a mérésekkel, illetve a mérőrendszeren való oktatással.

GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK III.

Gyenge Ákos Barnabás

Gépészmérnöki Kar

Áramlástan Tanszék

Tokamak reaktorokban alkalmazott pelletinjektorok áramlástan folyamatainak vizsgálata

Tokamak-típusú fúziós reaktorokban, mint például a Nemzetközi Termonukleáris Kísérleti Reaktorban (ITER) leendő tokamakjában, amennyiben egy elektromágneses instabilitás jelentős mértékben felerősödik, úgynevezett plazmadiszrupció keletkezhet. Ekkor a plazmában tárolt hő- és mágneses energia gyorsan felszabadul, amely károsíthatja a berendezés plazma felőli falát. Ezt megelőzendő, úgynevezett törtpellet-injektorokat (Shattered Pellet Injector - SPI) alkalmaznak, melyek gyorsan szilárd halmazállapotú hidrogént vagy más nemesgázt juttatnak a plazma belsejébe és ezzel lehűtik azt, mielőtt a diszrupció kialakul. A berendezésben egy 28,5 mm átmérőjű kriogén hidrogénpelletet egy gázimpluzus felgyorsít, majd ez egy, a plazma közelében elhelyezkedő lemezen összetörik, ezzel hígítva és hűtve a plazmát.

A HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpontban egy ilyen SPI berendezést fejlesztünk. A laboratóriumban áramlástan szempontból vizsgáljuk a pelletkészítés folyamatát: a hidrogén, vagy nemesgáz-pelletek a technológiai követelményeknek megfelelően csak deszublimációval készülhetnek, vagyis nagyon alacsony (pár mbar) nyomáson kell a hármasponti hőmérséklet alá hűteni a gázt. A szilárd prócium-, deutérium- vagy nemesgáz-pelleteket egy saját fejlesztésű gyorszelepből kiáramló nagy nyomású gáz lövi ki. A hajtógáz sebessége nagyobb, mint a pelleté, így a repülés során utolérheti, majd megelőzheti a szilárd testet. Magneto-hidrodinamikai stabilitás szempontjából hátrányos, ha a gáz előbb éri el a plazmát, mint a pellet, ezért az SPI rendszerhez egy gázvisszatartó elemet (gázszuppresszort) terveztünk, amely megakadályozza, hogy a hajtógáz bejusson a reaktorba. A deszublimációs, kilövési, illetve gázvisszatartási folyamatok vizsgálata speciális módszereket igényel, mivel a reaktorban uralkodó igen alacsony nyomás miatt a folyadék nem, vagy csak fenntartásokkal kezelhető kontinuumként. A Fúziós Plazmafizika Laboratóriumban ezen folyamatok kísérleti és numerikus vizsgálata zajlik az SPI rendszer hatékonyságának és megbízhatóságának növelése érdekében.

Horváth Dávid András

Gépészmérnöki Kar

Áramlástan Tanszék

Adataalapú modellek mérnöki alkalmazásokkal

Részecske-csillapítók passzív rezgés-csillapító eszközök, amelyek viszkózus csillapítókkal ellentétben széles hőmérséklettartományban használhatóak. A részecske-csillapító egy üreges dobozból áll, amelyben nagyszámú részecske helyezkedik el és a mozgás során ezek fallal történő ütközéseiből származik a csillapítási erő. A részecske-csillapító viselkedése erősen nemlineáris, a csillapítási erőre nincs analitikus modell. Ezenkívül a nagyszámú részecske miatt a részecskék mozgása erősen függ a kezdeti részecske-eloszlástól. Emiatt a részecske-csillapítót egy sztochasztikus rendszerként írtuk le, a csillapító erőt sztochasztikus folyamatnak tekintettük, amit a rendszer korábbi mozgásállapotára vonatkozó feltételes eloszlással írtunk le. A feltételes eloszlást normális eloszlásként modelleztük. Rekurrens neurális hálózatokat (RNN) alkalmaztunk ezen sztochasztikus rendszer meghatározására. Annak érdekében, hogy megbizonyosodjunk az RNN-ek alkalmasságáról, először késleltetett véletlen séták identifikációjára alkalmaztunk az RNN alapú modelleket. Ezután tértünk vissza a részecske-csillapítókra és megalkottunk egy olyan RNN alapú modellt, ami a részecske-csillapító mozgásállapotából előrejelzi a csillapítási erő feltételes eloszlását leíró normális eloszlás várható értékét és szórását.

Hubay Csanád Árpád

Gépészmérnöki Kar

Áramlástan Tanszék

Nemlineáris rendszerek bifurkációi áramlástechnikai alkalmazásokban

Egy polinomiális jobb oldalú nemlineáris rendszert vizsgálunk, amelynek az origóban elhelyezkedő fixpontja a lineáris stabilitás vizsgálat alapján centrum. A nemlinearitásokat is figyelembe véve azonban az origó valójában lehet centrum, stabil fókusz vagy instabil fókusz is. Elsőként bevezetjük a körülfordulási idő és a Poincaré-Lyapunov-konstansok fogalmát, megalapozva módszerünk elméleti hátterét. A nemlineáris rendszert az ún. Carleman-linearizáció segítségével linearizáljuk. A Carleman-linearizált rendszer megoldásához Putzer módszerét alkalmazzuk, amelynek segítségével a mátrixexponenciális egyszerűen kifejezhető, így elkerülhető a Carleman-mátrix Jordan-kanonikus alakra hozása. A kapott megoldás felhasználásával megadjuk a körülfordulási idő képletét (1. tétel) és megmutatjuk, hogy a megoldás a körülfordulási időben kiértékelve tartalmazza a Poincaré-Lyapunov-konstansokat. A Poincaré-Lyapunov-konstansok kifejezésére egy kompakt képletet adunk (2. tétel). A konstansokat lényegében kizárólag a Carleman-mátrix és annak sajátértékei segítségével határozzuk meg. Eredményeinket a Poincaré-Lyapunov-konstansokkal foglalkozó korábbi szakirodalom alapján validáljuk és két példán (a Liénard-egyenlet és a nemlineáris inga) keresztül szemléltetjük.

Mizsei Márton Zoltán

Gépeszmérnöki Kar

Áramlástan Tanszék

Pilóta nélküli repülőgépekre jellemző hajtómű-konfigurációk kombinált aeroakusztikai és aerodinamikai vizsgálata

Doktori kutatásom a pilóta nélküli repülőgépekre jellemző hajtómű-konfigurációk kombinált aeroakusztikai és aerodinamikai vizsgálata, azzal a céllal, hogy később mérési és numerikus adatokból megbízható zaj- és erőhatás-bebecslések készülhessenek és ezek alapján gyakorlati zajcsökkentési irányelvek legyenek megfogalmazhatók. Az eddigi előrehaladás főként az elméleti és módszertani alapozásra, valamint a mérési kampány előkészítésére épült.

Az első szemeszterben célzott irodalomkutatást végeztem az örvénydetektálásról, illetve a forgógép-lapátokról leváló örvények aerodinamikai és akusztikai hatásairól. Ezzel párhuzamosan az aeroakusztika alapfolyamatait és az örvények hangképzését tanulmányoztam, majd a második félévben ezt tovább mélyítettem az élszóródás felől: áttekintettem a Schwartzschild-problémát és a Wiener-Hopf megoldási keretet, külön kezelve a belépőél-, kilépőél- és érdességi zajt. A ventilátor-/rotorzajok felosztását és előrejelzésének fő gondolatait is rendszereztem és ezekhez kapcsoltam a Ffowcs Williams-Hawkings (FW-H) alapú akusztikai posztprocesszing szerepét.

Áramlástan oldalán összehasonlítottam a releváns örvénydetektálási módszereket és a nyírás-forgás szétválasztása miatt a részecskepálya-alapú LAVD módszert választottuk alapnak, kiegészítve gyors ellenőrzésre a Q-kritériummal. Ehhez illesztve áttekintettem a lapátózásról leúszó örvény-típusokat mint potenciális zajforrásokat. Kézszírt eredményként elkészült a LAVD-alapú örvénykontúrok nem-körkörösségéből származó hibaszámítás levezetése és MATLAB-os számítása, több esetre lefuttatva, dokumentálva. A tanszéki csendes szabadsugár mérések profilörvényleválás (PVS) jelenséghez kapcsolódó frekvenciabecsléseket külön Excelben rendszereztem; jelfeldolgozásból pedig a bikoherencia-elemzést és a folytonos wavelet-transzformációt is áttekintettem a későbbi propeller-mérések támogatására.

A gyakorlati megvalósítás felé a mérési kampányt (akusztika, sebességmérés, erőnyomatékmérés, időszinkron adatgyűjtés) előkészítettük a PIV-t az akusztikai mérésektől elkülönítve terveztük a zavarások csökkentése érdekében; emellett a csendes szabad sugár fejlesztésére műszaki javaslatokat fogalmaztunk meg. Publikációs vonalon a Paper_GT2025-153711 „MINIMAL MODELLING FOR NOISE AND VIBRATION PROPENSITY OF LOW-SPEED AXIAL FLOW ROTOR BLADES DUE TO VORTEX SHEDDING” című munkánk megjelenés előtt áll a Q2-es Journal of Engineering for Gas Turbines and Power folyóiratban és a hibaanalízis eredményeire és a csendes szabadsugár mérésekre építve további cikkek elkészítése is folyamatban van.

Rochlitz Róbert Zoltán

Gépészmérnöki Kar

Áramlástan Tanszék

Energiakaskád mechanizmusának elemzése nemlineáris rendszerekben

Létrehoztunk egy síkbeli oszcillátorláncon alapuló modellt, melynek blokk tömegei lineáris karakterisztikájú rugókkal és csillapításokkal csatlakoznak a szomszédos elemekhez és a blokkok képesek síkbeli mozgásra, ezzel geometriai nemlinearitást idézve elő. A lánc két vége egy-egy falhoz lett rögzítve, a rendszer tömegei és rugóhosszai egy közös hatványtörvényt követnek.

Demonstráltuk, hogy a rendszer láncre merőleges impulzív gerjesztésénél fellépő geometriai nemlinearitás nem idéz elő hatékony disszipációt. Ezzel szemben a lineáris dinamikát okozó, lánccal párhuzamos impulzív gerjesztés jelentősen gyorsabban disszipálta a rendszer kezdeti energiáját.

A továbbiakban megvizsgáltuk a lánc viselkedését a láncre merőleges, időben állandó gerjesztés mellett, melynek nagysága az egyes tömegekkel volt arányos. Megmutattuk, hogy a hatványtörvény alapjától és a gerjesztés erősségétől függetlenül a blokkok átlagos pozíciója - a konstans nyomásgradiensek által okozott Poiseuille-áramlások sebességprofiljához hasonlóan - jól illeszkedik egy másodfokú polinomra. A gerjesztést harmonikusra módosítva, egy küszöbfrekvencia felett a rendszer blokkjai a láncre merőleges irányban szintén közel harmonikus mozgást végeznek. Ez az eredmény kvalitatív szempontból szintén egyezik egy harmonikusan változó nyomásgradiens által okozott csőáramlásban a sebesség időbeli változásával.

Elemeztük egy bináris fa szerkezetű oszcillátor viselkedését is, ahol az egyes szinten lévő tömegek lineáris rugókkal, az alsó szinten lévő elemek lineáris csillapításokkal és köbös nemlinearitású rugókkal csatlakoznak a felettük lévő tömegekhez. Megállapítottuk, hogy a tömegek kismértékű, véletlen elhangolása a legtöbb vizsgált esetben hatékonyabb energiáttranszferhez vezet a disszipatív elemek felé és átlagosan növeli a rendszer legnagyobb Lyapunov-exponensét és kaotikusságát.

Balogh Fanni

Gépészmérnöki Kar

Polimertechnika Tanszék

Tervezetten biztonságos és fenntartható, intelligens polimer kompozitok fejlesztése

A kutatás célja tervezetten biztonságos és fenntartható, intelligens végtelenszál-erősítésű polimer kompozit rendszerek fejlesztése, amelyekben a tűzbiztonsági funkciók szerkezeti szinten integrált, előre meghatározott válaszmechanizmusok révén valósulnak meg. A megközelítés alapja, hogy az égésgátló komponensek nem a teljes laminátum homogén módosításával, hanem additív gyártástechnológiával előállított, funkcionális közbenső rétegek formájában kerülnek beépítésre a kompozit rétegrendbe.

FFF (fused filament fabrication) technológiával előállított, égésgátló adalékot tartalmazó polimer mintázatok kerülnek integrálásra szénszálerősítésű laminátumokba, lehetővé téve az égésgátló hatás lokális, geometriailag kontrollált kialakítását. A rétegsorrend és az adalékkonfiguráció tudatos tervezése révén a szerkezet égés közbeni viselkedése célzottan befolyásolható, különös tekintettel a hőhatásra aktiválódó delaminációs mechanizmusokra és az ezekhez kapcsolódó erő kifejtésre.

A kísérleti program a mechanikai teljesítmény és az égésjellemzők komplex vizsgálatára irányul, valamint a struktúra-funkció kapcsolat feltárására. A cél annak meghatározása, hogy a lokálisan elhelyezett égésgátló közbenső rétegek miként módosítják a laminátum integritását és tűz alatti válaszreakcióit, illetve milyen tervezési paraméterek mentén optimalizálható a szerkezeti és funkcionális teljesítmény egyensúlya.

Az eredmények hozzájárulnak olyan intelligens kompozit architektúrák kidolgozásához, amelyek alkalmazásspecifikusan hangolt, előre meghatározott biztonsági viselkedést mutatnak, különösen biztonságkritikus járműipari szerkezeti elemek esetében.

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR - FIATAL OKTATÓ, KUTATÓK

Szlancsik Attila

Gépészmérnöki Kar

Anyagtudomány és Technológia Tanszék

Miniatürizált próbatestek gyártásának és mechanikai vizsgálatainak fejlesztése

A projekt első három munkaszakaszában a miniatürizált mechanikai vizsgálatokhoz szükséges próbatestek és mérőrendszerek fejlesztése valósult meg, különös tekintettel az elektronikai iparban széles körben alkalmazott forrasztanyagok vizsgálatára. A kutatás egyik fő célja olyan próbatestgeometria és mérési infrastruktúra kialakítása volt, amely kis méretű minták esetén is megbízható mechanikai vizsgálatokat tesz lehetővé.

Az első munkaszakasz a miniatürizált próbatestek geometriájának tervezésére irányult. A szakirodalom feldolgozása alapján megállapítható, hogy bár számos próbatestgeometria létezik szakítóvizsgálatokhoz, jelenleg nincs általánosan elfogadott kialakítás, amely minden esetben optimálisan biztosítaná az egytengelyű feszültségállapotot. A munkaszakasz során ezért olyan geometria kialakítása volt a cél, amely egyszerre alkalmas a megbízható mechanikai vizsgálatok elvégzésére és gazdaságosan gyártható hagyományos technológiákkal. A korábbi előkísérletek alapján igazolást nyert, hogy forrasztanyagok esetében az öntési technológia alkalmas miniatürizált próbatestek előállítására.

A második munkaszakasz a miniatürizált próbatestek vizsgálatához szükséges mérőrendszer fejlesztésére fókuszált. Ennek keretében egy kompakt méretű, kifejezetten kis próbatestek vizsgálatára alkalmas miniatürizált szakítógép került megtervezésre és megépítésre. A berendezés egyik legfontosabb előnye a hagyományos szakítógépekhez képest a kis méret, amely lehetővé teszi, hogy a rendszer akár mikroszkóp alá is elhelyezhető legyen. Ezáltal a mechanikai terhelés során nemcsak az erő - elmozdulás görbék rögzíthetők, hanem a próbatest deformációja mikroszkópos megfigyeléssel is követhető. A kifejlesztett berendezéssel az első kísérleti mérések már megtörténtek, amelyek igazolták a rendszer működőképességét.

A harmadik munkaszakasz keretében a próbatestek gyártásához szükséges technológiai háttér került kialakításra. Ennek során összesen négy különböző öntőforma került megtervezésre és legyártásra, amelyek lehetővé teszik többféle miniatürizált próbatest előállítását. A fejlesztett szerszámok segítségével Innolot forrasztanyagból többféle próbatest készült, köztük szakítóvizsgálathoz alkalmas próbatestek, hárompontos hajlítóvizsgálathoz használható minták, valamint miniatürizált CT (compact tension) próbatestek törésmechanikai vizsgálatokhoz.

A mérőberendezés fejlesztése jelenleg is folyamatban van: a rendszer továbbfejlesztésének célja egy video-extenzométeres mérési lehetőség integrálása, amely lehetővé teszi a deformáció pontosabb, optikai alapú meghatározását. Ez a fejlesztés jelentősen növeli majd a mérési pontosságot, valamint lehetőséget teremt a deformációs folyamatok részletesebb vizsgálatára.

Balla Esztella Éva

Gépészmérnöki Kar

Áramlástan Tanszék

Drón rotorok körüli áramlás vizsgálata

A kutatás központi témája az áramlásba helyezett testek környezetében kialakuló örvénystruktúrák vizsgálata, amelyek meghatározzák a szerkezetek aerodinamikai és aeroakusztikai viselkedését. A munka során három, mérnöki szempontból kiemelt jelentőségű területet érintettem: a forgógépek lapátprofiljainak zajkibocsátását, a magasépítmények szélterhelés okozta instabilitásait, illetve előkészítettem egy eVTOL járművek rotorjainak kölcsönhatását vizsgáló mérési összeállítást.

A vizsgálatok első részében a kisebbességű axiális átömlésű gépekre jellemző profilok (RAF-6E és 8%-os íveltségű lemezprofil) kilépőél környéki örvényleválásait elemeztem. Ezen örvények közvetlen kapcsolatban állnak a profilzaj keletkezésével, valamint a felhajtóerő fluktuációja révén a lapátokon fellépő hajlítónyomatékkal. A kutatás során olyan egyszerűsített numerikus modelleket dolgoztunk ki a kollégáimmal, amelyek alkalmasak a zaj és a felhajtóerő ingadozás nagyságrendi becslésére és a kvalitatív trendek előrejelzésére. Az eredményeket irodalmi adatokkal validáltuk, igazolva a modellek alkalmasságát a gyors mérnöki predikciókra.

A kutatás második szakaszában a vizsgálatokat a téglalap keresztmetszetű tompa testek aerodinamikájára terjesztettem ki, amelyek a modern magasépületek és tartószerkezetek modelljei. Egy 3:2 oldalarányú téglalap alapú hasáb körüli áramlást vizsgáltunk a kollégáimmal OpenFOAM környezetben, Detached Eddy Simulation turbulenciamodellel alkalmazásával. Kiemelt figyelmet fordítottunk a 25°-os állásszögnél tapasztalható bistabil áramlási viselkedésre, ahol az erőtenyezők időfüggése, hirtelen változása figyelhető meg. A numerikus szimulációk sikeresen reprodukálták a kísérletileg mért átlagos erőtenyezőket és a bistabil viselkedés jeleit is felfedeztük.

A harmadik kutatási irányban eVTOL járművek jellemző hajtási konfigurációira végeztünk irodalomkutatást egy gépészmérnök hallgató bevonásával. Ennek alapján felmértük, hogy az Áramlástan Tanszéken elérhető UAV tesztpad alkalmas-e a rotorok tolóerejének mérésére különböző rotortávolságok esetére. A cél, hogy visszaadjuk, illetve kiegészítsük a szakirodalmi eredményeket a saját méréseinkkel a rotorok kölcsönhatását vizsgáló tolóerő mérésekkel.

Gergely László Zsolt

Gépészmérnöki Kar

Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

Passzív eljárások hatása a hazai lakóépületek napelemes termelésének helyben felhasználására

A kutatás célja annak vizsgálata volt, hogy a hazai lakóépületek esetében milyen mértékben javítható a napelemes rendszerek termelésének helyben történő felhasználása, kiemelten a tervezési döntésekre való fókuszálással és egyszerű aktív beavatkozási lehetőségekkel. A munka középpontjában azon tényezők kvantitatív elemzése állt, amelyek aktív, komplex vezérlési megoldások alkalmazása nélkül is képesek befolyásolni az egyidejűséget a villamosenergia-termelés és -felhasználás között.

A kutatás során egy részletes, szcenárióalapú szimulációs keretrendszer került kialakításra, amely különböző hazai lakóépület-típusok, épületgépészeti rendszerek, napelemes konfigurációk és fogyasztási profilok kombinációját vizsgálja. A modellezés idősoros, 15 perces felbontású adatokon alapul, lehetővé téve az éves működés dinamikus elemzését. A vizsgálatok során többek között a napelemes rendszer tájolása, méretezése, a használati melegvíz-fogyasztás mintázata, valamint az akkumulátoros energiatárolás passzív működése kerültek elemzésre.

Az eredmények értékelése standard egyidejűségi mutatók - önfogyasztás, önellátás, öntermelés és hálózathasználati tényező - mentén történt. Az eredmények megerősítik, hogy az akkumulátor használat az egyidejűséget legnagyobb mértékben javítani képes egyszerűen alkalmazható eljárás a lakosság esetében, adott napelemrendszer méretek esetében. Mindazonáltal nagyobb akkumulátoros tárolók mellett is megmaradnak egyéb paraméterek, kifejezetten az épületgépészeti rendszer típusának, egyszerű átütemezésének hatása a profilok egyidejűségére.

Egy lényeges ellentmondás is megjelenik a kutatási eredményekben - nevezetesen, hogy a jellemzően az épületgépészeti szempontból energiapazarló rendszereknél egyszerűbb jobb helyben felhasználás elérése a nettó nulla energiamérlegű napelemrendszer méretezéskor. Így értelemszerűen ütközik az energiahatékonyság elve és a jobb helyben felhasználás elérésének célja.

Az eredmények rámutatnak arra, hogy a passzív megközelítések - megfelelő rendszerkialakítással és használati mintázatokkal - érdemi alternatívát jelenthetnek a kizárólag aktív szabályozásra épülő megoldásokkal szemben. A kutatás hozzájárul a lakossági napelemes rendszerek hatékonyabb hálózati integrációjához és alapot szolgáltat a jövőbeli szabályozási és ösztönző rendszerek kialakításához.

Urbin Ágnes

Gépészmérnöki Kar

Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

Adaptációs színeltolódás mérési módszerének és vizsgálati környezetének fejlesztése

A kutatás központi kérdései közé tartozik a kromatikus adaptációs állapot leírása, az adaptációs színeltolódás kvantitatív meghatározása, valamint annak feltárása, hogy különböző környezetekben mely módszerek biztosítják ezek pontos és hatékony mérését.

Alapfeltevésünk szerint a kromatikus adaptációs állapot jellemzése leginkább az adaptációs színeltolódás, a sugárzáseloszlás által kiváltott színészlelési változás, illetve az eredő színérzet eltolódás együttes elemzésével érhető el.

A tervezett vizsgálatok kiindulópontját az akromatikus színínger beállítása képezi, amelyet a színindiskriminációs képesség vizsgálata egészít ki. Az adaptációs színeltolódás elemzése során elsődleges cél a színmegjelenés és a színidentifikáció megfigyelése. A kromatikus adaptáció tanulmányozásában kiemelt jelentőséggel bír a fehér színínger, a fehér színérzet és a fehér színészlelet közötti összefüggés. Ennek megfelelően az első kérdés annak meghatározása, hogy egy adott adaptációs állapotban mely színíngerhez társul akromatikus, fehér színészlelet. Az érzékelhető színek teljes tartományára kiterjedő adaptációs színeltolódás vizsgálata ezt követően, a fehér színészlelet változásának megértésére építve végezhető el.

A kutatás hosszabb távú célja a kromatikus adaptáció mechanizmusának pontosabb feltárása és modellezése. A pályázat egyéves időszakában elsődleges feladat egy olyan vizsgálati módszer kidolgozása, valamint a szükséges kísérleti környezet feltételeinek meghatározása, amely alkalmas az adaptációs színeltolódás megbízható mérésére.

A várható eredmények közé tartozik egy olyan keretrendszer kialakítása, amely lehetővé teszi a különböző kísérleti beállításokból származó adatok egységes gyűjtését és alapot teremt egy általános érvényű kromatikus adaptációs modell megalkotásához. Az átfogó kísérleti terv a jelenlegi tudományos eredményekre támaszkodik, különös figyelmet fordítva a releváns paraméterekre és azok vizsgálati tartományaira.

Az adaptációs kutatások eredményei beépíthetők az érzékszervi vizsgálatok szabványos rendszereibe is, például az érzékszervi színmeghatározás (ISO 11037), az érzékszervi laboratóriumok kialakítása (ISO 8589), valamint a bírálók kiválasztása és nyomon követése (ISO 8586) területén. Az eredmények alapján javaslatok tehetők az ISO TC 34 SC12 (Sensory analysis) számára a szabványok felülvizsgálatára a kromatikus adaptáció hatásainak figyelembevételével és hosszabb távon ezek az ismeretek beépíthetők az akkreditált vizsgálólaboratóriumok (ISO 17025) gyakorlatába is.

A kromatikus adaptáció tudományos hátterének feldolgozása emellett lehetőséget teremt arra, hogy az iparban termékspecifikus fénykabinokat fejlesszenek ki. Ezek a jelenlegi szabványos előírásokat meghaladó módon képesek olyan megvilágítási környezetet biztosítani, amely az adott termékcsoport érzékszervi vizsgálata szempontjából releváns, csökkenti a bírálókra nehezedő vizuális torzításokat és mérsékli a keresztmodalitásból adódó hatásokat.

Kádár Fanni

Gépészmérnöki Kar

Műszaki Mechanikai Tanszék

Parciális differenciálegyenletek szabályzása időkésleltetett egyenletek elméletének alkalmazásával

A parciális differenciálegyenletek és időkésleltetett rendszerek közötti kapcsolat számos műszaki példában kihasználható. A két spanyol kiállítási koncepció körüli elméleti anyag kritikai értékelése feltételezésem szerint alkalmas az adaptív hasznosítás témakörének tágabb szakirodalmának rendszerezésére is és egyben egy olyan fogalmi háttér tisztázására, amely nem csak a további kutatásomat, de az építészeti gyakorlatommal kapcsolatos módszertani tisztázást is elősegíti.

Az egyensúlyi helyzet stabilitásvizsgálata esetén ezek a karakterisztikus gyökök karakterisztikus exponensek, amelyek valós része negatív stabilitás esetén. A legnagyobb valós részű gyököt nevezzük dominánsnak, valós része szoros összefüggésben áll a rendszer beállási idejével.

A részleges pólushelyezés azt célozza, hogy a végtelen sok karakterisztikus gyök közül egy hangolható legyen amellett, hogy spektrumbeli dominanciája biztosított. Ennek a szabályozási módszernek egyik alapkőve a többszörös gyök által indukált dominancia („Multiplicity Induced Dominancy „), továbbiakban MID, aminek értelmében a kontroll paraméterek megválasztása biztosítja egy gyök előírt algebrai multiplicitását. Ekkor matematikai feltételek mellett bizonyítható, hogy ez a gyök domináns és adott körülmények között a lehető leggyorsabb exponenciális lecsengést biztosítja.

Az MID alapján megvalósított részleges pólushelyezés számos időkésleltetett szabályzási feladatban és parciális differenciálegyenletek esetén bizonyított. Ilyenkor a szabályozott rendszer adott és a szabályzási paraméterek hangolása történik. Végtelen dimenziós mechanikai rendszerek esetében teszteltem a módszert. A tartály-nyomáshatároló szelep-cső passzív szabályzási feladata esetén szembeötlő az együtthatók csatolódása a karakterisztikus egyenletben. Hasonló csatolódás jelent meg az elektromos roller álló helyzetben történő önegyensúlyozása esetén, amely egy időkésleltetett kaszkád szabályzón keresztül valósul meg. A passzív szabályzási példa esetén a minimális algebrai multiplicitás nem biztosítható, míg alacsonyabb multiplicitás esetén dominancia bár fellép, a robusztusság elveszik. A kaszkád szabályozási példa paraméteres matematikai kezelése megtörtént, azonban egy kereskedelmi roller adatait megvizsgálva valószínűsíthető, hogy valós fizikai környezetben üres halmazra vezet ez a paraméter-optimalizáció.

Linearizált rendszer esetében az egyensúlyi helyzet stabilitásának garanciáján túl az eredeti nemlineáris rendszer vizsgálata is elengedhetetlen a lehetséges együttlétező megoldások okozta veszélyes üzemállapotok elkerülése érdekében. A haladóhullám megoldás alapú időkésleltetett egyenletek globális viselkedésének összevetése az eredeti parciális differenciálegyenletek globális viselkedésével kulcsfontosságú, amihez numerikus szimulációk szükségesek. Az időkésleltetett rendszer esetében a lépések módszerével, azaz „Method of Steps” - MoS alapján készült szimulációs eljárás, ami fontos numerikus kérdéseket hidalat át. A szimulációt tranziens alapú módszereken keresztül teszteltem. Folyamatban van az összevetése a parciális differenciálegyenletek szimulációjával.

Kiss Lóránt

Gépészmérnöki Kar

Polimertechnika Tanszék

Sugárzással iniciált ojtási módszerek fejlesztése gumihulladékok értéknövelt újrahasznosítására

A modern kori társadalmunk egyik legnagyobb problémája a keletkezett hulladékok megfelelő kezelése, ártalmatlanítása és újrahasznosítása. Az esetek túlnyomó részében a „műanyag hulladék” kifejezés hallatán az embereknek a különböző egyutas termoplasztikus termékek jutnak az eszükbe és gyakran megfélemedezünk a különböző térhálós rendszerek okozta jelentős problémákról, amelyek legnagyobb képviselője a különböző gumiabroncsok. A térhálós szerkezetükből adódóan kémiaiilag stabilak és a hagyományos, ömledékes technológiákat nem lehet az újrahasznosításuk során alkalmazni. Szükséges tehát újfajta, innovatív módszerek kidolgozása a hulladékabroncsok értéknövelt újrahasznosítására.

A hulladék gumiabroncsokat leggyakrabban őrlik, majd az így előállított abroncs gumiőrletet (GTR) hasznosítják újra. Gyakran ezt valamilyen mátrixba keverik be, mint töltőanyag, de a legnagyobb probléma, hogy a fázisok közötti kompatibilitás nem megfelelő, ezért az anyagok felhasználási területei is szűkek. A kutatásom első szakaszában kidolgoztam újfajta, sugárzással iniciált ojtási technológiákat annak érdekében, hogy a gumiőrlet felületét célzottan módosítsam annak érdekében, hogy erősebb adhézió alakuljon ki a fázisok között a keverékekben. Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiával és energiadiszperzív röntgenspektroszkópiával megállapítottam, hogy az ojtási reakció hatására a felületi oxigén mennyisége növekedett, továbbá a morfológia is szegmentáltabb lett, amit pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltam. A felületaktivált gumiőrletet reciklált poliolefin mátrixokban alkalmaztam, majd vizsgáltam ezeknek a tulajdonságait. Az ojtási technológia hatására az anyagok szakítószilárdsága és szakadási nyúlása növekedett, ami előnyös a későbbi alkalmazások szempontjából, így a felhasználási területek bővíthetők és a környezetbe kerülő gumihulladék mennyisége csökkenthető.

Ezzel párhuzamosan a kutatásom második pillére újfajta, gumiőrlet alapú adszorbensek fejlesztése és alkalmazása szennyvízkezelési alkalmazásokhoz. A jelentős ipari fejlődés miatt több olyan iparág van, ahol jelentős mennyiségű vizet használnak fel, amely visszakérül a körforgásba. Ezek megfelelő kezelése fontos, ugyanis több esetben is kimutattak szennyezőket a talaj- és szennyvizeinkben. A munkám során elektronsugárzással iniciált ojtási technológiával módosított, továbbá vízben sugárkezelt gumiőrlemény alapú adszorbenseket fejlesztettem, majd vizsgáltam ezeknek a tulajdonságait. A sugárkezelés hatására a gumiőrlet hidrofíl tulajdonságot mutatott, továbbá modell szennyvízben megvizsgáltam ezeknek a Cu^{2+} ion megkötési képességét. A vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy az adszorpció kapacitás szignifikánsan megnőtt a kidolgozott sugárkezelések hatására, így hatékonyan meg tudták kötni a rézionokat a modell szennyvízben. Ezzel a módszerrel egy új funkciót tudunk adni a hulladék gumiőrletnek, így csökkentve a környezetben lévő abroncsok mennyiségét és ezzel párhuzamosan tisztítva a vizeinket.

Kovács Zsófia

Gépészmérnöki Kar

Polimertechnika Tanszék

Égésgátló és vezetőképes bevonattal ellátott multifunkcionális kompozitok vizsgálata és újrahasznosítása

Napjainkban a polimer kompozitok széles körű alkalmazása mellett egyre nagyobb figyelem irányul azok funkcionális tulajdonságainak fejlesztésére. A polimerekre jellemző alacsony szabad töltéshordozó-koncentráció miatt ezek az anyagok alapvetően elektromos szigetelőként viselkednek. Magas ellenállásuk ugyanakkor hátrányos lehet, mivel lokális elektromos terhelés - például villámcsapás vagy kisülés - hatására jelentős károsodás alakulhat ki, amely komoly szerkezeti problémákhoz vezethet. Ez különösen a járműipari alkalmazásokban jelent kihívást, ezért indokolt a felületi vezetőképesítés növelése. A jelenleg alkalmazott megoldások, például a kompozitokba épített rézhálók, ugyan hatékonyak, de növelik a tömeget, kedvezőtlenül befolyásolják a mechanikai tulajdonságokat és korlátozzák az újrahasznosíthatóságot.

Az expandálható grafit ígéretes alternatívát kínál, mivel kiváló elektromos vezetőképesítéssel rendelkezik és polimerekhez adagolva többfunkciós adalékként viselkedik: egyidejűleg javítja a vezetőképesítést és égésgátlóként is funkcionál. Önmagában is alkalmazható például poliamid 6 (PA6) égésgátlására, azonban heteroatomokat - például foszfort vagy magnéziumot - tartalmazó égésgátlókkal kombinálva szinergikus hatás érhető el, miközben az elektromos tulajdonságok nem romlanak. A fenntarthatósági törekvések és a körforgásos gazdaság előtérbe kerülésével az újrahasznosíthatóság kiemelt szemponttá vált. A hőre lágyuló kompozitok ebből a szempontból kedvezőek, mivel mechanikai újrafeldolgozásuk lehetővé teszi a hulladék mennyiségének csökkentését, a termékek élettartamának növelését, valamint a fenntarthatóbb anyaghasználat megvalósítását. Kutatásom során E-kaprolaktám anionos gyűrűfelnyitós polimerizációjával létrehozott, szénszállal erősített PA6 kompozitokon alakítottam ki PA6-alapú égésgátló bevonatot, valamint vizsgáltam a mátrix égésgátlásának lehetőségeit egy kaprolaktámban oldódó, foszfortartalmú égésgátló alkalmazásával. Az így módosított, bevonattal ellátott kompozitok esetében ezt követően elemeztem az elektromos vezetőképesítést, majd vizsgáltam a kompozitok mechanikai és éghetőségi tulajdonságait többszöri mechanikai újrahasznosítás után.

A felületi bevonatok kialakítása során expandálható grafitot és hexafenoxi-ciklotrifoszfazént alkalmaztam, amelyek együttes jelenléte szinergikus hatást eredményezett. A bevonatrendszer nemcsak az égésgátló tulajdonságok javításához járult hozzá, hanem lehetővé tette a felületi vezetőképesítés kialakítását is, ezáltal többfunkciós módosítást biztosítva a kompozitok számára. A vizsgálatok azt mutatták, hogy a kialakított bevonat hatékonyan hozzájárul a hőhatással szembeni védelemhez, miközben az elektromos tulajdonságok kedvező irányba változnak. Emellett az újrahasznosítási kísérletek alapján megállapítható, hogy a bevonat funkcionalitása több feldolgozási ciklust követően is megőrizhető, ami különösen fontos a fenntartható kompozitok fejlesztése szempontjából.

Tóth Csenge

Gépészmérnöki Kar

Polimertechnika Tanszék

Ipari hulladékkal töltött kompozitok élettartam végi stratégiáinak tervezése és életciklus-elemzése

Napjainkban a kompozit anyagfejlesztés területén egyre hangsúlyosabbá válik a fenntarthatósági szempontok integrálása. Az olyan megközelítések, mint az újrahasznosításra tervezés (design for recycling) és a minimális környezetterhelésre való tervezés (design for low impact), azt célozzák, hogy az anyagok ne csupán mechanikai és funkcionális teljesítményük alapján kerüljenek optimalizálásra, hanem figyelembe vegyék az újrafeldolgozhatóságot és az élettartam végi kezelhetőséget is. Ezzel párhuzamosan növekvő igény mutatkozik arra, hogy a primer forrásból származó nemfemes szerves töltő- és erősítőanyagok - például üvegpорок, kerámiaporok vagy üvegszálak - részben vagy egészen gyártásközi és bontási hulladékból visszanyert frakciókkal kerüljenek kiváltásra. Bár ezen elvek alkalmazása egyre gyakoribb a kutatásban, ipari szinten még nem tekinthető általános gyakorlatnak, mivel a nagy mechanikai teljesítményre optimalizált rendszerek fejlesztése sok esetben háttérbe szorítja az élettartam végi és körforgásos szempontokat.

Az élettartam-tervezés egyik legkézenfekvőbb megoldása lehet a megbízható, tartós műszaki alkatrészek tervezése. Ehhez olyan modellekre van szükség, amelyek képesek különböző mechanikai igénybevételek esetén pontos előrejelzést adni a termékek adott körülmények esetén várható élettartamára. Ezért a kutatásom egyik felében egy olyan modell fejlesztésével foglalkoztam, amely alkalmas hőre lágyuló mátrixú szálerősített kompozitok kúszási élettartamának előrejelzésére. A modell a feszültség-idő szuperpozíció elvén, valamint erővezérelt szakítógörbéken alapul. A megközelítés lehetővé teszi a kompozitok kúszási élettartamának becslését minimális kísérleti adat felhasználása mellett. A módszert üvegszállal erősített, polipropilén mátrixú kompozitokra validáltam, húzó- és hajlító terhelési esetekre.

A kutatásom másik felében a csomagolóanyag-fejlesztésre fókuszáltam, mert ezen a területen a hosszú élettartam műszakilag nem indokolt vagy nem megvalósítható, hiszen a csomagolóipari termékek funkciójukból adódóan rövid életciklussal rendelkeznek. Ebben az esetben célszerű a lehető legfenntarthatóbb, újrahasznosítható és/vagy komposztálható anyagstruktúrák alkalmazása, azaz az ökodesign-elvek alkalmazása. Célom olyan anyagrendszer kialakítása volt, amely nemcsak az alkalmazásspecifikus - elsősorban gázzárási és mechanikai - követelményeknek felel meg, hanem bioalapú és potenciálisan komposztálható megoldást is kínál. Ennek megvalósítására politejsav (PLA)-alapú rendszert fejlesztettem. A PLA fóliák felületére olyan szójafehérje-alapú bevonatot rétegeztem, amelybe montmorillonitot (MMT) diszpergáltam. Az alkalmazott bevonat nemcsak természetes forrásból származott, hanem javította a funkcióspecifikus gázzáró tulajdonságokat is. Összességében elmondható, hogy így olyan csomagolóanyagot fejlesztettem, ahol a fejlesztési fázisban nemcsak a funkcionális, hanem az életciklus-szemléletű tervezési irányelvek is előtérbe kerültek.

Virág Ábris Dávid

Gépészmérnöki Kar

Polimertechnika Tanszék

Bioszénrel töltött, csökkentett karbonlábnyomú gumikeverékek fejlesztése járműipari alkalmazásokhoz

Napjainkban Európában az autógyártókra egyre szigorúbb szabályozások vonatkoznak, különösen a szén-dioxid (CO_2) kibocsátás csökkentése terén. Bár ezek az előírások elsősorban a járműgyártókat célozzák, egyre több követelmény közvetetten vagy közvetlenül a beszállítókra is kiterjedés számos esetben a jármű teljes életútját veszi figyelembe.

Kutatások foglalkoznak a térhálós rendszerek lebontásával, azonban ezek egyelőre nem jutottak olyan eredményekre, amelyek teljeskörű megoldást nyújtanának erre a problémára. Ugyanakkor a CO_2 -kibocsátást a keverékek gyártása során is lehet csökkenteni azáltal, hogy fenntarthatóbb anyagokból és/vagy fenntarthatóbb módon hajtjuk végre a gyártást. A gumikeverékek egyik legfontosabb adaléka a korom, amely megnöveli a keverék szilárdságát, továbbá számos funkcionális tulajdonságot biztosít, például javítja a kopásállóságot és a tömítő képességet. Az autóipar a korom legnagyobb felhasználója, a kb. 15 millió tonnás globális koromtermelés mintegy 70%-a gumiabroncsokban kerül. 1 kg korom gyártása átlagosan kb. 3,6 kg CO_2 kibocsátással jár. A korom kiváltására alkalmas lehet a bioszén (BC), egy szénben gazdag, porózus anyag, amely mezőgazdasági hulladékok pirolízisével hozható létre, ugyanakkor jelenleg csupán talajjavítóként alkalmazzák. A bioszén előállítása szén-dioxid-semleges vagy akár szén-dioxid-negatív is lehet. Előállítási körülményektől függően, 1 kg bioszén gyártása 1,4-3,2 kg CO_2 megkötésére alkalmas.

Kutatásom során azt vizsgáltam, hogy a korom, mint töltőanyag milyen mértékben helyettesíthető bioszénrel (BC) természetes gumi (NR) és etilén-propilén-dién-monomer (EPDM) alapú gumikeverékekben. A vizsgálatok során a koromtartalmat 0-100 tömegszázalék közötti arányban helyettesítettem BC-vel, majd az így előállított keverékeken vulkaméteres méréseket, szakító- és továbbszakító-vizsgálatokat, valamint keménységméréseket végeztem. A fenntarthatóság értékeléséhez számszerűsítettem a CO_2 -kibocsátást, majd a keverékek összetétele és a feldolgozási paraméterek alapján megbecsültem a feldolgozáshoz szükséges energiaigényt.

A BC-tartalom növekedésével a szakítószilárdság, a szakadási nyúlás és a 300 %-os nyúlásnál mért modulus lineárisan csökkent, mind az NR-, mind az EPDM-alapú keverékek esetén. Azonban a kezdeti húzómerevség nőtt, ami arra utal, hogy a BC-vel töltött keverékek előnyösek lehetnek kis deformációjú alkalmazások esetén. Összességében az eredmények azt mutatják, hogy a BC részleges helyettesítőjeként történő integrálása hozzájárulhat a környezeti hatások csökkentéséhez, miközben az NR- és EPDM-alapú gumikeverékek műszaki teljesítménye kielégítő marad.

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR I.

Bilszky Márk

Gépészmérnöki Kar

Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

Kardiovaszkuláris események regionális különbségeinek feltárása gépi tanulás és analitikus algoritmusok segítségével

A kórházon kívüli szívmegállás (out-of-hospital cardiac arrest, OHCA) világszerte továbbra is az egyik legnagyobb mortalitású halálozási ok, továbbá a kimenetekben jelentős regionális eltérések figyelhetők meg, amelyeket a laikus segítségnyújtás és a sürgősségi mentőszolgálat (EMS) teljesítményének különbségei alakítanak.

Kutatásom a mentőszolgálat által ellátott magyarországi szívmegállásos eset országos kohorszát elemzi 2018. november és 2024. augusztus között, nyolc közigazgatási régióra kiterjedően, annak érdekében, hogy jellemezze a regionális kimeneteli különbségeket, valamint számszerűsítse a spontán keringés visszatérésének (return of spontaneous circulation, ROSC) módosítható meghatározó tényezőit, az Utstein-jelentési standardokkal összhangban. A kutatás háromlépcsős analitikai keretrendszert alkalmaz. Először leíró és kockázat szerint korrigált regionális összehasonlítások számszerűsítik a ROSC heterogenitását, feltárva egy 9,0%-os országos alapértéket, ugyanakkor jelentős regionális eltéréseket is, 8,5% és 12,4% között, miközben a mért beteg- és beavatkozási tényezők csak részben magyarázzák a kimenetek különbségeit. Másodszor, az időbeli szegmentálás a COVID előtti, COVID alatti és COVID utáni időszakokra bontva (variancia-dekompozícióval kiegészítve) számszerűsíti a pandémia okozta zavart: a ROSC aránya a pandémia előtti 10,96%-ról 8,76%-ra csökkent a COVID-19 időszaka alatt. Harmadszor, hat gépi tanulási algoritmus — a logisztikus regressziótól az ensemble-alapú módszerekig (random forest, gradient boosting, XGBoost) — került betanításra és belső validálásra a ROSC előrejelzésére, valamint a prehospitális kockázat stratifikáció lehetővé tételére. A kockázattal korrigált elemzések három fő, módosítható tényezőt azonosítottak: a laikus által végzett defibrillációt, a légúti intubációt, valamint a gyors EMS-kiérkezési időt a kezdeti 8 perces időablakon belül. A kezdeti szívritmus és a laikus szemtanú jelenléte erős prognosztikai tényezőnek bizonyultak, a sokkolandó ritmusok (kamrafibrilláció/kamrai tachycardia) pedig 6,17-szer magasabb ROSC-eséllyel társultak a nem sokkolandó ritmusokhoz képest. A regionális kimeneteli különbségek a kockázati korrekció után is fennmaradtak, ami arra utal, hogy nem mért rendszerszintű tényezők is érdemben hozzájárulnak a kimeneteli egyenlőtlenségekhez. Az előrejelző modellek erős diszkriminációs teljesítményt értek el (AUC ROC: 0,82–0,86), és az ensemble-alapú módszerek következetesen felülmúlták az egyszerűbb specifikációkat.

Ezek az eredmények bizonyítékalapú képet adnak a magyarországi regionális OHCA-egyenlőtlenségekről, számszerűsítik a túlélés módosítható rendszerszintű meghatározó tényezőit, valamint operatív alkalmazásra alkalmas, kalibrált gépi tanulási modelleket szolgáltatnak. Az eredmények támogatják a célzott minőségfejlesztési kezdeményezéseket, amelyek összhangban állnak a túlélési lánc elveivel és a méltányos prehospitális szívmegállás-ellátásra vonatkozó nemzetközi best practice irányelvekkel.

Magyari Zsombor

Gépészmérnöki Kar

Műszaki Mechanikai Tanszék

Elektromos roller vezetőjének megfigyelése YOLOv5 képfeldolgozó algoritmus módosításával

Az elmúlt években az elektromos mikromobilitási járművek (pl. elektromos rollerek, egykerekűek, gördeszkák, one-wheelerek és segwayek) jelentős népszerűsége tettek szert. Ez kis tömegüknek és méretüknek köszönhető, ami különösen hasznossá teszi őket a városi közlekedésben. A mikromobilitási járművek mind közlekedési, mind környezetvédelmi szempontból előnyösek, mivel használatukkal elkerülhetők a forgalmi dugók, ugyanakkor könnyen kombinálhatók tömegközlekedéssel is. Továbbá az elektromos mikromobilitási eszközök nem szennyezik a város levegőjét. Fontos azonban megjegyezni, hogy ezen járművek irányítása a hagyományos járművekhez képest sokkal nagyobb kihívást jelent a felhasználók számára. Egyrészt főként térbeli dinamikai problémák irányításával kapcsolatos feladatokkal szembesülünk, másrészt az irányításhoz az emberi test összetett mozgáskoordinációjára is szükség van. Ennek következtében a mikromobilitási járművek elterjedése a személyi sérüléssel járó közúti balesetek számának növekedéséhez is vezetett. Ezért a jármű-ember rendszer dinamikájának feltárása és megértése elengedhetetlen a mikromobilitási eszközök és a vonatkozó közlekedési szabályozások biztonságosabbá tételéhez. Ezenfelül a jármű-ember dinamikai rendszer viselkedésének vizsgálata segíthet új, az emberi szabályozással kapcsolatos felismerések feltárásában, amelyek az autonóm járművek tervezése során is rendkívül fontosak. A jármű kis mérete miatt a vezető mozgása jelentősen befolyásolja a jármű mozgását és döntő szerepet játszik annak irányításában. Ezért elengedhetetlen információt gyűjteni arról, hogyan mozog a vezető a járművön különböző szituációkban. Ez az információ elsősorban a vezető tömegközéppontján keresztül jellemezhető. A tömegközéppont mozgása különösen alkalmas a vezető járműre gyakorolt hatásának leírására, mivel tömör és intuitív reprezentációt ad a test mozgásáról anélkül, hogy növelné a probléma általános bonyolultságát. Ez előnyös mind az analitikus számítások, mind a numerikus szimulációk szempontjából. Ugyanakkor a tömegközéppont közvetlen mérése valós forgalmi környezetben nehezen megvalósítható, ami a képalapú becslési módszerek alkalmazását motiválja. A YOLO olyan mélytanuláson (deep learning) alapuló neurális hálózatok egy családja, amelyet képfeldolgozási feladatok széles körére terveztek. Kutatásunkban a YOLOv5 modellt adaptáljuk kifejezetten a vezetőhöz tartozó tömegközéppont pozíciójának becslésére. Az adaptációt az architektúra módosításaival és egy saját tanító adatbázis létrehozásával valósítottuk meg. Az adatok létrehozásához egy optikai mérőberendezést használtunk és egy biomechanikai kutatást vettünk alapul. Elemezzük a különböző paraméterek hatását a neurális háló tanítási folyamata során, valamint bemutatjuk az elektromos rollerrel közlekedő vezető súlypontpozíciójának becslését.

Magyari Zsombor

Gépészmérnöki Kar

Műszaki Mechanikai Tanszék

Elektromos roller és vezetőjének dinamikai modellezése és szimulációja

Az elmúlt években az elektromos mikromobilitási járművek (pl. elektromos rollerek, egykerekűek, gördeszkák) jelentős népszerűsége tettek szert. Ez kis tömegüknek és méretüknek köszönhető, ami különösen hasznossá teszi őket a városi közlekedésben. A mikromobilitási járművek mind közlekedési, mind környezetvédelmi szempontból előnyösek, mivel használatukkal elkerülhetők a forgalmi dugók, ugyanakkor könnyen kombinálhatók tömegközlekedéssel is. Továbbá, az elektromos mikromobilitási eszközök nem szennyezik a város levegőjét. Fontos azonban megjegyezni, hogy ezen járművek irányítása a hagyományos járművekhez képest sokkal nagyobb kihívást jelent a felhasználók számára. Egyrészt főként térbeli dinamikai problémák irányításával kapcsolatos feladatokkal szembesülünk, másrészt az irányításhoz az emberi test összetett mozgáskoordinációjára is szükség van. Ennek következtében a mikromobilitási járművek elterjedése a személyi sérüléssel járó közúti balesetek számának növekedéséhez is vezetett. Ezért a jármű-ember rendszer dinamikájának feltárása és megértése elengedhetetlen a mikromobilitási eszközök és a vonatkozó közlekedési szabályozások biztonságosabbá tételéhez. Kutatásunkban megvizsgáltuk az elektromos rollerek dinamikai vizsgálatához használható mechanikai modelleket, hangsúlyt fektetve a vezető irányításának és szabályozási stratégiájának figyelembevételére. A modellt valós rendszer alapján identifikáltuk, majd numerikus szimulációkat és méréseket végeztünk.

Pesti Patrik

Gépészmérnöki Kar

Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

Légköri fizikai és kémiai paraméterek hatása a kardiovaszkuláris események esetszámára és anomáliáira

A napi esetszámokból álló egészségügyi idősorok egyszerre mutatnak szabályos heti, éves mintázatokat, de megjelennek a ritka, anomaliaszerű, az egészségügyi rendszerre nagy terhelést jelentő kiugró napok is. Ezek detektálása és a befolyásoló globális paraméterek feltárása kulcsfontosságú, viszont komplex feladat. Erre a célra dolgozok ki algoritmusokat, melyeket a 2018-2023 között a Magyarországon bekövetkező, kórházon kívüli szívmegeállás regiszteren és egy meteorológiai adatbázison keresztül mutatok be.

Idősorelemzéseket követően különböző, kevésbé összetett modelleket vizsgálok: egy klasszikus regressziós modellt és többféle gépi tanulási regresszort (pl. gradient boosting, neurális háló). A modellek felhasználják a múltbeli esetszámot, a naptári jellemzőket (hét napjai, ünnepnapok, egyéb szezonálisitások) és a meteorológiai változókat. Ezt követően robusztusabb, összetett modellekkel is megvizsgálom a problémát.

Kiértékelést követően a kiugró esetszámú napokat külön vizsgálva, fényt derítetek az egyes időjárási változók relevanciájára. Ezt a kiugrások paraméterfüggő sűrűségarányának becslésével teszem meg, melyhez a releváns konfidenciaintervallumokat is meghatározom, levezetem.

Az így létrehozott regressziós, illetve extrém incidencia elemzéssel kapcsolatos eljárások rávilágítanak az egyes paraméterek és paramétertartományok fontosságára és azok lehetséges hatására. Munkám célja - az említett kórképek mélyebb megismerésén túl - a prevenció és az edukáció támogatása, továbbá a megfelelő erőforrás-allokáció segítése az egészségügyben.

Borbás Balázs

Gépészmérnöki Kar

Anyagtudomány és Technológia Tanszék

Additívan gyártott titánszerkezetek bevonatolása: szerkezeti és korróziós vizsgálatok

A modern orvostudományban egyre növekvő szerepet kap a személyre szabott terápia: így teret hódít az additív gyártás implantátumokban való hasznosítása. A csontrendszeri fémimplantátumok vázszerkezete továbbá hatással van az összeintegrációra és - a szerkezet rugalmassági modulusának hangolásával - a mechanikai tulajdonságokra is. Fő célkitűzésem additívan gyártott tömör és cellás geometriájú, kezdetben bioinert titánszerkezetek (Grade 23, Ti-6Al-4V ELI) bevonatolása biokompatibilis kitozán biopolimerrel és biomimetikus hidroxipatit lágy keramikus réteggel. A kezdetben nagy felületi érdességgel rendelkező, cellás vázszerkezetek esetén pórusos hordozók bevonatolását elektrokémiai leválasztásos és mártásos eljárásokkal kivitelezem.

A hordozók sűrűsége megegyezik az alapanyag elméleti sűrűségével, felületük rendkívül érdes ($R_z = (86,9 \pm 3,8) \mu\text{m}$), amely heterogén nedvesedést eredményez. Az additívan gyártott minták egyensúlyi vízperemszöge ($124 \pm 4^\circ$), a bioinert, hidrofób felület negatív hatással van az összeintegráció kezdetén jelentős fehérjeadszorpcióra és sejtdhézióra. A hordozókon képzett bioaktív bevonatok jelenléte pásztázó elektronmikroszkópia és elektronsugaras mikroanalízis alapján igazolható; a bevonatolt minták felületi érdessége minden esetben 10-15%-kal csökken. A bioaktív bevonatok kialakításával a fémfelületek hidrofilizálhatóak, a bevonatolt felületeken mért egyensúlyi peremszög átlagértéke $<40^\circ$. Az elektrokémiai bevonatleválasztás során képzett kitozánbevonatok rétegvastagsága 10...50 μm , a hidroxipatit bevonatoké $<10 \mu\text{m}$. A megnövekedett nedvesíthetőség - a kitozánbevonat sejtközi állományt mimelő szerkezete mellett - pozitív hatással lehet a csont-implantátum kapcsolat erősségére. Minden vizsgált rendszer fiziológias körülmények közt mért korróziósebessége a biokompatibilitás feltételének számító 0,13 mm/év értéknél nagyságrendekkel kisebb.

Összefoglalva, a komplex geometriájú, additívan gyártott Ti-6Al-4V szubsztrátumokra homogén kitozán- vagy hidroxipatit bevonat képezhető elektrokémiai bevonatleválasztással és/vagy mártásos bevonatképzési eljárással. Az így kapott bevonatolt rendszerek az additív gyártás kiváló mechanikai tulajdonságait és tervezési rugalmasságát kombinálják a bevonat által biztosított megnövelt bioaktivitással, a magas korróziós ellenállás továbbá biztosítja a potenciális implantátumok hosszú távú klinikai stabilitását. Eredményeim alapján javaslatot teszek az egyes modellrendszerek bioaktivitásra gyakorolt hatásáról, kijelölöm a kutatás folytatási irányát.

Seprős Szilárd

Gépészmérnöki Kar

Gyártástudomány és -technológia Tanszék

Bio-inspirált belső szerszámhűtési technológia fejlesztése és numerikus vizsgálata

A hőterhelés kontrollálása az ipar számos területén alapvető fontosságú a hatékonyság, a minőség és a berendezések élettartamának biztosítása érdekében. A forgácsolási folyamatok során a szerszámok jelentős hőterhelésnek vannak kitéve, amely kedvezőtlenül befolyásolja azok élettartamát és a szignifikánsan hat a megmunkált felületek minőségére. A hőmérséklet csökkentése és a hőeloszlás javítása érdekében a szerszámok hűtése így sokszor elengedhetetlen. Az iparban használt stratégiák közül az elárasztásos módszer a legelterjedtebb, ugyanakkor egyre nagyobb figyelem irányul a belső hűtőrendszerek fejlesztésére azok hatékonysága, valamint egyéb előnyös tulajdonságai (fenntarthatóság, koncentrált hűtés, kisebb környezetterhelés) miatt.

A cél egy olyan innovatív, biomimetikus belső szerszámhűtési koncepciók megalkotása volt forgácsoló szerszámokhoz, melyek adaptívan képesek reagálni a folytonosan változó körülményekre és a meghatározott szimulációs környezetben kedvezőbb hűtési tulajdonságokkal rendelkeznek az általánosan alkalmazott szerszámhűtési stratégiáknál.

Kutatásomban különböző hűtőcsatorna geometriákat és adaptív hűtési stratégiákat fejlesztettem és elemeztem szimulációs környezetben. Az ANSYS Fluent szoftverben elvégzett szimulációk során egyenes és diffúzoros kialakításokat, valamint adaptív - geometria befolyásoló - stratégiákat hasonlítottam össze. A vizsgálatok középpontjában a szerszám hőeloszlása, a hűtőközeg sebességprofilja és az áramlási veszteségek álltak. Az eredmények alapján meghatározható, hogy a különböző megoldások miként befolyásolják a hűtési hatásfokot, a sebességnövekedést és a nyomásesést. A kidolgozott koncepciók megfelelő külső vagy belső (intelligens) vezérlésével adaptív módon lehet a gyorsan változó hőmérsékleti terhelést kezelni, mellyel így szignifikánsan kedvezőbb hűtési tulajdonságokat lehet elérni.

Az elvégzett szimulációk hozzájárulnak a belső hűtési rendszerek optimalizálásához és a jövőbeli szerszámtervezési stratégiák megalapozásához, melyek az additív szerszámgyártási technológiák térnyerésével egyre relevánsabbá válhatnak.

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR II.

Kovács Kinga Andrea

Gépészmérnöki Kar

Áramlástan Tanszék

Az epsilon transzportegyenlet továbbfejlesztése a k-epsilon modell pontosságának növelésére

A turbulens áramlások pontos modellezése továbbra is az áramlástan tématerületének egyik legnagyobb kihívása. Noha az elmúlt évtizedekben jelentős fejlődés történt a skálafelbontó modellek terén, mint például a nagy örvény szimuláció, illetve a direkt numerikus szimuláció (DNS), ezen módszerek mindennapos alkalmazása számos mérnöki feladatban nem megvalósítható a nagy számításigény miatt. Ezzel szemben a rendkívül széleskörben alkalmazott Reynolds-átlagolt Navier-Stokes (RANS) modellek számításigénye kedvező, ugyanakkor pontosságuk is alacsonyabb. Jelen kutatás hosszútávú célja egy magasabb pontosságú RANS modell fejlesztése DNS eredmények felhasználásával. A kutatás keretein belül Kolmogorov-áramlás és csatornaáramlás DNS eredményeinek felhasználásával javaslatot tettünk a standard k-epsilon modell javítására egy újfajta örvényviszkozitás modell bevezetésével. Mindemellett megkezdtük egy egydimenziós DNS adatbázis létrehozását, melynek segítségével később a modellillesztést és az optimalizálást fogjuk végrehajtani. Ezen egydimenziós adatbázisban olyan kanonikus áramlástanai esetek fordulnak elő (pl. Kolmogorov-áramlás, csatornaáramlás, Couette-áramlás, hátrafelé néző lépcső körüli áramlás stb.), melyek segítségével valamennyi komplex áramlástanai eset előállítható. Az illesztés másik sarkalatos pontja egy újonnan kidolgozott Python-alapú, egydimenziós áramlástanai megoldó, melynek a validációját OpenFOAM-al történő összehasonlítás révén hajtottuk végre. Ezen saját fejlesztésű áramlástanai megoldó előnye, hogy valamennyi kanonikus esetet, illetve tetszőleges turbulencia modellt rendkívül könnyen és gyorsan lehet implementálni, valamint az adatbázis felhasználása és az optimalizálás is egyazon keretrendszeren belül valósítható meg. A fejlesztés alatt álló RANS turbulencia modell egy, a szimulációs tartomány méretét figyelembe vevő - ún. geometry-aware - modell, ugyanis ez alapvetően meghatározza a létrejövő turbulens struktúrák méretét, melyről a modellt informálni kell.

Csapó Maja

Gépészmérnöki Kar

Polimertechnika Tanszék

Hibrid reciklálási módszerek fejlesztése fröccsöntéshez

A kutatás célja az újrahasznosított polimer és kompozit anyagok fröccsöntési feldolgozhatóságának vizsgálata. A kutatás fókuszában az anyagtulajdonságok és a feldolgozási paraméterek közötti összefüggések feltárása áll. Ennek érdekében olyan mérési és kiértékelési módszertant dolgoztam ki, amely alkalmas az újrahasznosítás során bekövetkező anyagviselkedési változások számszerű és összehasonlítható elemzésére, valamint a későbbi modellezési és fenntarthatósági értékelések megalapozására.

A vizsgált időszakban fröccsöntési kísérletek előkészítését és részbeni végrehajtását valósítottam meg. A kísérletek során a feldolgozási paraméterek hatását többszörösen feldolgozott polimer rendszerek esetében vizsgáltam. A kísérleti vizsgálatokat kiegészítettem a fröccsöntési folyamat közbeni energiafelhasználás mérésével is, amely lehetővé teszi a különböző technológiai beállítások energetikai igényének összehasonlítását.

A kutatás egyik fő elemeként a viszkozitás változását vizsgáltam, mivel ez meghatározó tényező a fröccsöntési feldolgozhatóság és a feldolgozási stabilitás szempontjából. Az újrahasznosítás egyik fő kihívása a többszöri mechanikai és hőterhelés következtében a kompozit anyagokban bekövetkező szál-töredezés, amely a szálhossz-eloszlás módosulásához és az anyaghomogenitás változásához vezet. Ez a jelenség közvetlen hatással van a reológiai viselkedésre, ezért a viszkozitás értelmezése során figyelembe kell venni. Egy további jelentős tényező az újrahasznosított anyagokban jelen lévő szennyeződések hatása. Ezek fázisszeparációt idézhetnek elő, ami a mechanikai tulajdonságok romlásával járhat. A fázisszeparáció következtében a feldolgozás közbeni viszkozitás megváltozik, ami a feldolgozhatóságot is befolyásolja.

A viszkozitást több, egymástól független mérési és számítási módszer alkalmazásával határoztam meg. Ezek közé tartoznak a fröccsöntési folyamat során rögzített szenzoros adatokon alapuló elemzések, valamint a hagyományos reológiai mérések. A kutatás során egy egységes mérési és adatkezelési struktúrát alakítottam ki, amely biztosítja a minták, a feldolgozási lépések és a mérési eredmények nyomon követhetőségét. Emellett a modellezéshez szükséges reológiai adatok előkészítése is megtörtént, különös tekintettel a Cross-WLF típusú viszkozitásmodellek újrahasznosított anyagokra történő alkalmazhatóságára.

A kutatás részeként megkezdtem az életciklus-elemzés módszertani előkészítését is, több feldolgozási és anyaghasználati forgatókönyv figyelembevételével. Az energiamérési adatok és a feldolgozhatósági jellemzők együttes értelmezése lehetővé teszi, hogy a fröccsöntési feldolgozás és a környezeti terhelés közötti összefüggések a későbbiekben részletesen vizsgálhatók legyenek. Az eddig elért eredmények alapot biztosítanak a további, részletes kísérleti és értékelési vizsgálatok elvégzéséhez.

Görbe Ákos

Gépészmérnöki Kar

Polimertechnika Tanszék

Újrahasznosított gumiőrlettel társított termoplasztikus vulkanizátumok fejlesztése és elemzése

Napjaink egyik legnagyobb kihívása a gumitermékek, azon belül pedig a gumiabroncsok anyagában történő, értéknövelt újrahasznosítása. A gumiabroncsok olyan összetett, kompozit termékek, amelyekben többféle kaucsukból készült, erősítő-és töltőanyagokkal társított elasztomer és különféle anyagú (acél, polimer) erősítőbetétek egyesülnek. Amíg a jellemzően fém szilárdsághordozók abroncsbontás után újrahasznosíthatók megolvasztás útján, addig az abroncs gumirészeire ez nem igaz: a gyártásuk során létrejött térhálós szerkezet miatt nem vihetők ömledék állapotba. Éppen ezért a gumiabroncsok újrafelhasználása jellemzően energetikai jellegű, vagy pedig szekunder típusú, tehát az eredeti termékhez képest gyengébb minőségű termék készítésére felhasználható. Az elasztomerek anyagában történő újrahasznosításának legmodernebb és leginkább előremutató iránya a devulkanizálás és a regenerálás, amely folyamatok a keresztkötések felbontását célozzák meg. Ehhez első lépésként a gumiabroncsok elasztomer részét őrlik a jobb kezelhetőség miatt, így alakul ki a gumiabroncs-őrlet (ground tyre rubber, GTR). A devulkanizálás során a GTR-ből kialakuló devulkanizált gumiabroncs őrletet (dGTR) önmagában visszavulkanizálva egy primer kaucsukból készült elasztomernél jellemzően gyengébb mechanikai jellemzőkkel rendelkező gumiterméket kapunk az óhatatlanul bekövetkező lánctördelődés miatt. Emiatt az ilyen típusú újrahasznosítás csupán „down-cycling” jellegű lehet, azaz az eredeti anyagból készült termékhez képest rosszabb minőségű termék állítható elő. A GTR alkalmazása régóta elterjedt termoplasztikus polimerek töltőanyagaként. Ezt leginkább a polimerek szívósítására alkalmazzák, ugyanis kismennyiségű finomszemcsés gumiőrlet jó eloszlatottság esetén képes lehet az elnyelt energia növelésére. Abban az esetben, ha a termoplasztikus fázisban elosztatott gumifázis mennyiségét jelentősen (akár 50 m% fölé) megnöveljük, akkor már termoplasztikus elasztomerről (TPE) beszélünk abban az esetben, ha a két fázis között megfelelő a kompatibilitás. Ezek olyan anyagok, amelyek fizikai térhálós szerkezetük révén úgy mutatnak gumyszerű viselkedést, hogy közben reverzibilisen megolvaszthatók, így az újrahasznosíthatóságuk is megoldott. A gumyszerű viselkedéshez azonban elengedhetetlen a gumifázis kis, mikrométeres tartományba eső szemcsemérete, erre a legjobb megoldást a dinamikus vulkanizáció nyújtja. A folyamat során a kaucsukkeverék vulkanizálatlan formában kerül a feldolgozó berendezésbe, ahol intenzív nyírás mellett, a kompaundálás során történik meg in situ módon a vulkanizáció. Ez a gumifázis szemcseméretének jelentős csökkenéséhez vezet, ezáltal a kialakuló termoplasztikus dinamikus vulkanizátum (TDV) jellemzően nagy nyúlással rendelkezik. Abban az esetben, ha a TDV-k gumifázisa kiváltható dGTR-alapú gumikeverékkel, akkor az nem csak az alapanyag árát tudja csökkenteni, hanem újfajta megoldást nyújthat a nagy mennyiségben keletkező gumiabroncs-hulladék értéknövelt felhasználására.

Kunsági Viktória

Gépészmérnöki Kar

Polimertechnika Tanszék

In-situ habosodó nyomtatószálok fejlesztése és alkalmazása FDM alapú 3D nyomtatásban

A 2025/26-os tanév első félévében a pályázatban vállalt kutatási és szakmai feladataimat maradéktalanul teljesítettem. Kutatásom központi témája az in-situ habosodó nyomtatószálok fejlesztése és alkalmazása FDM alapú 3D nyomtatásban, amelynek célja olyan filament előállítása, amely nyomtatás közben jelentős expanzióra képes, ezáltal csökkentve a termék tömegét és felhasznált alapanyag mennyiségét. A technológia további előnye, hogy lehetőséget ad egyetlen gyártástechnológiai lépésben a keresztmetszet mentén változó sűrűség és szabályozott porozitás kialakítására.

A kutatómunkát egy átfogó szakirodalmi áttekintéssel kezdtem, amely során feltérképeztem az extrúziós habosítás módszereit, a 3D habnyomtatás jelenlegi lehetőségeit, valamint a habok anyagvizsgálati eljárásait. Az irodalomkutatás alapján több technológiai fejlesztési irányt azonosítottam, például az ikercsigás extruder alkalmazását a jobb keveredés érdekében, illetve a kisebb átmérőjű fúvókák használatát a hatékonyabb hő- és áramlási viszonyok biztosítására.

A PhD kutatás első szemeszterében egy kereskedelmi forgalomban kapható in-situ habosodó filamenttel vizsgáltam a nyomtatási paraméterek hatását a habosodás mértékére. Különböző paraméterekkel nyomtatott próbatestekről pásztázó elektronmikroszkópi képeket készítettem, amelyeket egy képelemző szoftverrel egészítettem ki, így értékelve a kialakult cellaszerkezetet. A kapott eredményekből következtetéseket vontam le, hogy hogyan befolyásolják a gyártási paraméterek a habosodás mértékét.

Megállapítottam, hogy a nyomtatási hőmérsékletnek és a nyomtatási sebességnek létezik egy ideális tartománya, ahol a legnagyobb expanzió és a legalacsonyabb sűrűség érhető el. A habosodás hatására létrejövő méretnövekedés az áramlási sebesség helyes megválasztásával kompenzálható, ezzel biztosítva a méretpontosságot. Amennyiben ezt nem változtatom meg, tehát 100%-on marad, jobb rétegeközi tapadást lehet elérni, mivel az egymás mellé helyezett, kör keresztmetszetű szálak között kialakuló anyaghiányt az expanzió kitölti. A feltárt összefüggések lehetővé tették, hogy a keresztmetszet mentén változó sűrűségű és nagy teherbírású szerkezeteket hozzak létre.

A legyártott próbatesteken hajlító-, szakító-, nyomó-, ejtődárdás- és Charpy-féle ütvehajlító vizsgálatokat végeztem, amelyek igazolták, hogy a habosodás hatására javuló rétegeközi adhézió húzó igénybevétel esetén kedvezően befolyásolja a mechanikai viselkedést. Az elért eredményeket 2025. november 6-7-én, a debreceni 11th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME) konferencián mutattuk be.

A félév során egy szakdolgozat és két TDK dolgozat konzulensi feladatait láttam el, továbbá aktívan részt vettem a kutatók éjszakáján és a BME Polimertechnika Tanszék szakmai workshopján.

Összességében a féléves munkát eredményesnek értékelem, a kitűzött célokat sikerült teljesítenem és a kutatás további ipari hasznosításához is értékes tapasztalatokat szereztem.

Kardos Réka Anna

Gépészmérnöki Kar

Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

Turbulens hidrogén-ammónia lángok képalapú elemzése: kemilumineszcencia és dinamikus viselkedés

A karbonsemleges energia iránti globális igény erősödésével egyre inkább előtérbe kerülnek az alternatív tüzelőanyagok. A hidrogén-ammónia tüzelési rendszerek ígéretes lehetőséget kínálnak, egyszerre csökkentve a fosszilis tüzelőanyagoktól való függőséget, valamint a szén-dioxid kibocsátást. A szél- és napenergia túltermeléséből előállított megújuló szintetikus tüzelőanyagok, mint az ammónia és hidrogén, hónapokon át hatékonyan tárolhatóak. Ezek egyszerre jelentenek megoldást a nagy energiasűrűséget igénylő technológiák ellátására és a villamosenergiarendszer nap- és szélerőművek időjárásfüggése okozta kiegyenlítetlenségének mérséklésére. Míg a hidrogén nagy reaktivitása, magas lángterjedési sebessége előnyt jelent számos technológia számára, addig a nagy fajtérfogat és a fémek ridegítése komoly logisztikai problémákat jelent. Az ammónia, mint hidrogénhordozó molekula használata megoldást nyújt a szállításra, mivel a biztonságos kezeléséhez szükséges technológiák jól ismertek. Égési tulajdonságai azonban kedvezőtlenek, így célszerűbb a felhasználás előtt egy kis méretű reaktorban az ammónia egy részét hidrogénné és nitrogénné alakítani, az így képződött elegy pedig általánosan a földgázhoz hasonló körülmények mellett hasznosítható. A két tüzelőanyag jelentősen eltérő égési viselkedése, a lángstabilitás, a nitrogén-oxidok képződése és a biztonságos üzemeltetés hiánya ennek ellenére aktuális problémák.

Tehát az hidrogén-ammónia elegyek alkalmazásának széleskörű elterjedéséig még jelentős kutatási, fejlesztési erőfeszítések szükségesek, ezekben pedig nagy szerepet kapnak a kísérleti, adatalapú elemzések. Ezért turbulens, hidrogénnel segített ammónia tüzelést vizsgáltam egy félipari léptékű, 10-20 kW tüzelési teljesítményű, atmoszférikus égőn. A mérések fókuszában a légfelesleg és hidrogén bekeverés okozta hatások vizsgálata állt, a hidrogén-részesedése 0-30 V/V% között változott. A kísérletek elsősorban tüzelőanyagban szegény elegyek égetésére fókuszáltak, a homogénebb égés és alacsonyabb nitrogén-oxid kibocsátás elérése érdekében. A nagy reaktivitású hidrogén bekeverése az alsó gyulladási határkoncentrációt csökkenti, így stabil égést tesz lehetővé a tisztán szénhidrogénekkel nem elérhető, magas légfeleslegű, jellemzően alacsony kibocsátású beállítások esetén is.

A tüzelőberendezés kvarcüveggel rendelkező égőtere lehetővé tette az optikai vizsgálatokat. Nagysebességű kamerával készült direkt- és Schlieren felvételek segítségével elemeztem a vizsgált lángok dinamikai viselkedését, különösen a hidrogén-arány és a légfelesleg változása okozta hatásokat. Ugyanezek a felvételek lehetőséget nyújtanak a lángok görbületének, mint a turbulens lángterjedési sebességet jelentősen befolyásoló tényező, kísérleti úton történő vizsgálatára. A sáváteresztő szűrőkkel készült, a lángok kemilumineszcencia emisszióját több szűk hullámhossztartományban mutató képeken szintén a hidrogén-arány és légfelesleg hatását vizsgáltam.

Németh Márton Bence

Gépészmérnöki Kar

Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék

Nyaki verőér szűkületek progressziójának hemodinamikai vizsgálata

Az adott félév során a kutatás célja egy folyadék-szilárd kölcsönhatást (FSI) figyelembe vevő numerikus modellezési keretrendszer megalapozása volt, valamint a betegspecifikus szimulációkhoz szükséges adatok előkészítése. Ennek részeként sor került az irodalomban alkalmazott FSI szimulációs módszerek áttekintésére, különös tekintettel azok gyakorlati alkalmazhatóságára és a meglévő munkafolyamatba történő integrálhatóságára. Az elemzés alapján meghatároztam az egyes megközelítések bemeneti adatigényét, valamint azokat a szempontokat, amelyek a további kutatás során alkalmazott szoftverkörnyezettel szemben elvárhatók.

A módszertani vizsgálatok eredményei alapján a további szimulációk a FEBio környezetben kerültek elvégzésre. A szoftver működésének és FSI megoldóinak megismerése validációs példákon keresztül történt, amelyek az irodalomban közölt referenciamegoldásokkal jó egyezést mutattak. Ezek alapján a FEBio alkalmasnak bizonyult a tervezett vizsgálatok elvégzésére.

A félév során párhuzamosan megtörtént a rendelkezésre álló betegadatok rendszerezése és előfeldolgozása. A CT-felvételek, Doppler sebességmérések és hisztopatológiai eredmények összekapcsolásával olyan adatbázis jött létre, amely lehetővé teszi a betegspecifikus numerikus modellek kialakítását. Azokban az esetekben, ahol az adatkészlet teljessége ezt lehetővé tette, kezdeti CFD szimulációk készültek a kiértékelési eljárások és peremfeltételek vizsgálatára.

A félév második felében a szimulációs peremfeltételek fejlesztése került előtérbe. Ennek keretében kialakításra került a Windkessel peremfeltételek paramétereinek optimalizálására szolgáló munkakörnyezet, amelynek tesztelése megkezdődött. A módszer kialakítása közben megmutatta, hogy a peremfeltételek megadását egyszerűsíteni, illetve lehetővé tenni a meglévő adatok felhasználása gépi tanulós módszerekben. Ezeket a megoldásokat megismertem és alkalmaztam és tervbe került az eredmények folyóiratban történő publikálása.

Rácz Erika

Gépészmérnöki Kar

Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

Levegő segédközeges porlasztó turbulens jellemzőinek vizsgálata

A kutatási téma fő célja levegő segédközeges porlasztóval létrehozott permetek részletes statisztikai elemzése, a kétfázisú turbulens áramlás sebesség- és cseppméret-jellemzőinek feltárása érdekében. A porlasztás számos ipari területen - így az energiaiparban, orvostechikában, festéstechnológiában és mezőgazdaságban - alapvető szerepet tölt be, ezért a folyamat pontos megértése kulcsfontosságú a berendezések hatékonyságának növeléséhez, a működés optimalizálásához, valamint a károsanyag-kibocsátás és energiafelhasználás csökkentéséhez. A jelenleg alkalmazott numerikus modellek jellemzően csak integrál mennyiségek reprodukálására képesek, míg a permet lokális statisztikai és turbulens jellemzői gyakran fizikailag pontatlanok, ezért kiemelt jelentősége van a részletes kísérleti alapú validációnak.

A kutatás nagyméretű, Fázis Doppler Anemométerrel (PDA) rögzített mérési adatbázisokon alapul, amelyek 10.800 idősoros adatsort tartalmaznak négy különböző folyadék esetén, hat porlasztónyomáson, öt folyadék előmelegítési hőmérsékleten és 90 permetbeli pozícióban. A mérések során egyedi cseppek mérete és két sebességkomponense kerül rögzítésre, az adatgyűjtés 40.000 detektált cseppig vagy 15 s időlimitig folyt. Az adatfeldolgozást és vizualizációt MatLab környezetben, saját fejlesztésű, automatizált algoritmusokkal végzem.

A vizsgálatok központi eleme a Reynolds-feszültségek meghatározása, amelyek a sebességfluktuációk kovarianciájaként a turbulens impulzus-transzport mértékét jellemzik. A PDA által szolgáltatott idősorokból a sebességkomponensek átlag- és fluktuációs részeinek szétválasztását követően számítom az egyes normál- és nyírófeszültség-tagokat, valamint azok térbeli eloszlását. A Reynolds-feszültségek nagysága és irányfüggése közvetlen információt ad a permet anizotrópiájáról, a turbulens energiatermelésről és a keveredési mechanizmusokról. Ezek alapján meghatározható a turbulens kinetikus energia és annak disszipációjára utaló trendek is, amelyek alapvető bemenő paraméterei a kétfázisú RANS és LES alapú modelleknek. A különböző porlasztási paraméterek hatásának vizsgálatával feltárható, hogy a Reynolds-feszültségek miként módosítják a csepp-pályákat, az impulzuscsatolást és a permet szerkezetét.

Az elemzések célja univerzális turbulens trendek azonosítása, robusztus statisztikai mutatók kidolgozása, valamint olyan modellparaméterek származtatása, amelyek közvetlenül felhasználhatók numerikus szimulációk validálására és koncentrált permetmodellek fejlesztésére. A kutatás hozzájárul a kétfázisú turbulens áramlások mélyebb megértéséhez, támogatja a porlasztók célzott tervezését, elősegíti az ipari folyamatok optimalizálását és a környezeti terhelés csökkentését, valamint doktori kutatásom tudományos és módszertani megalapozását.

Szabó Bence

Gépészmérnöki Kar

Gép- és Terméktervezés Tanszék

Talaj-szerszám kölcsönhatás modellezése és optimalizálása

A talajművelő szerszámok geometriájának optimalizálása kiemelt jelentőségű a talajművelés energiahatékonysága, a megfelelő talajszerkezet kialakítása és a talajegészség megőrzése szempontjából. A talaj-szerszám kölcsönhatása vizsgálható numerikus szimulációkkal, például diszkrétéleemes módszerrel (DEM). Ezen szimulációk során különféle szerszámgeometriák tesztelhetők modellezett talajban és vizsgálható azok hatékonysága, például a vonóerőszükséglet, a szerszám mögött hagyott barázda keresztmetszete és a talajmodell ártrendeződése. Ezek alapján következtethetünk a szerszámhatékonyságra.

A geometriaoptimalizációs folyamat támogatható genetikus algoritmussal (GA), amely optimumkeresési stratégiát meghatározó kezdeti beállítások (hiperparaméterek) alapján keresi a jól teljesítő megoldásokat. Azonban a kezdeti hiperparaméterek meghatározzák a megoldáskeresés hatékonyságát, amely a DEM szimulációkban kritikus fontosságú, mivel egy szimuláció futtatása drága. Mivel a keresési tér jellege ismeretlen, nem egyértelmű, hogy milyen hiperparaméter-beállításokkal lehet a megoldáskeresés konvergenciáját rövidíteni.

Ezen problémára keresve a megoldást jelen munkában egy korábbi, 673 DEM szimuláción alapuló szerszámgeometria-optimalizálási feladat eredményeire építve a GA hiperparamétereinek metaoptimalizálását végeztem el helyettesítő modell alkalmazásával. A számításigényes DEM futtatásokat Gauss-folyamat regressziós modellel helyettesítettem, amely Automatikus relevancia-meghatározás (ARD)-alapú változófontosság-elemzést is lehetővé tett.

A metaoptimalizáció során egy külső GA hangolta a belső, szerszámtervezési GA hiperparamétereit. A metaoptimalizációs célfüggvény a végső elért fitness értéket és a konvergencia meredekségét együttesen értékelte. Az eredmények szerint a vizsgált optimalizálási térben a megközelítőleg 39-es populációméret, az 5-6 generáció, valamint a 11-13 szülő alkalmazása biztosította a legkedvezőbb egyensúlyt a konvergencia sebessége és a végső fitness érték között. A keresztezési valószínűség közepes tartománya (megközelítőleg 0,4-0,8) eredményezte a leghatékonyabb megoldásokat, míg a mutációs valószínűség esetében az alacsony értékek (megközelítőleg 0,15 körül) bizonyultak optimálisnak.

A bemutatott módszertan lehetővé teszi a DEM-alapú optimalizálási folyamatok számítási költségének jelentős csökkentését, miközben megalapozott döntéstámogatást biztosít a hiperparaméter-választásban. Az eredmények hozzájárulnak a talajművelő szerszámok automatizált, erőforrás-hatékony tervezési módszereinek fejlesztéséhez.

MŰSZAKI MECHANIKA SZEKCIÓ

Agócs Norbert

Gépészmérnöki Kar

Műszaki Mechanikai Tanszék

Összetett hiperelasztikus konstitutív modellek fejlesztése

A gekkók által inspirált fibrilláris tapadási rendszerek hatékonyságát alapvetően meghatározza az érintkezési felület peremén kialakuló feszültségmező szingularitását jellemző aszimptotikus megoldás. Jelen kutatás célja olyan adatvezérelt alakoptimalizálási módszertan kidolgozása, amely lehetővé teszi a kritikus tartományban a feszültségek csökkentését ezáltal javítva az adhéziós tulajdonságot. A vizsgálat során spline-görbékkel megadott kontúrokkal definiált tengelyszimmetrikus rugalmas fibrillák és merev felület közötti tapadást modelleztem automatizált végeselemes szimulációk segítségével Abaqus környezetben, Python alapú szkriptezéssel.

A szimulációs eredmények alapján egy kompakt, előrecsatolt (feedforward) neurális hálózatra épülő helyettesítő modellt hoztam létre, amely nagy pontossággal képes megragadni a fibrilla geometriai paraméterei és az aszimptotikus feszültség jellemzői közötti erősen nemlineáris kapcsolatot, túlparaméterezett hálózatok alkalmazása nélkül. A neurális hálózatot egy alakoptimalizálási eljárásba integrálva, négy kontrollponttal jellemzett spline-geometriák esetén sikerült olyan optimális fibrillaalakot azonosítani, amely tisztán normál terhelés mellett mintegy 25%-kal csökkenti az aszimptotikus normálfeszültséget az egyenes hengeres referencifibrillához képest.

A kutatás eredményeként egy teljesen automatizált, reprodukálható numerikus és adatvezérelt keretrendszert készítettem, amely alkalmas új fibrilla-geometriák hatékony tervezésére és megalapozza a módszer további kiterjesztését összetettebb anyagmodellekre és terhelési esetekre.

Bauer Balázs László

Gépészmérnöki Kar

Műszaki Mechanikai Tanszék

Nemlineáris mechanikai rendszerek globális stabilitásának és dinamikus integritásának elemzése

A nemlineáris mechanikai rendszerek globális stabilitásának és dinamikus integritásának kérdése kulcsszerepet játszik a nagy dimenziós, összekapcsolt dinamikus rendszerek tervezésében és biztonságos üzemeltetésében. A kutatás célja az instabilitáshoz vezető mechanizmusok feltárása, valamint a stabil egyensúlyi megoldások vonzáskörzetével jellemezhető dinamikus integritás és a gyakorlati robusztussági elvárások közötti kapcsolat mélyebb megértése. A vizsgálatok középpontjában numerikus és fél-analitikus számításokon alapuló módszerek állnak, amelyek lehetőséget teremtenek a lokális robusztusság mérőszámként való felhasználására az optimális rendszerparaméterek keresése során. A kutatás célja e módszerek kiterjesztése több nemlineáris differenciálegyenletből álló rendszerekre lokális becslések alkalmazásával. Az így nyert konzervatív modellek további iteratív algoritmusokba – például a DynIn toolboxba – integrálhatók a számítási hatékonyság növelése érdekében.

A módszertani fejlesztések alkalmazása nagy létszámú drón csoportok dinamikáján történik. A vizsgálatok egyszerű alapkonfigurációkból indulnak ki, mint az egydimenziós drónláncok és köralakú elrendezések, majd kiterjesztésre kerülnek komplexebb struktúrákra és dinamikai modellekre. A cél ezen rendszerek stabilitását alapvetően meghatározó alterek és alacsony rendű dinamikák azonosítása, valamint az ezekhez szükséges dekompozíciós módszerek fejlesztése.

Békési Balázs János

Gépészmérnöki Kar

Műszaki Mechanikai Tanszék

Súrlódásos rendszerek fázistérbeli elemzése

Az érintkező alkatrészek közötti súrlódás leírása igen összetett, bonyolult feladat. E komplex jelenségek modellezésére számos empirikus súrlódási modellt vezettek be, melyek a különböző alkalmazási területek igényeihez igazodnak. A kutatási programunk első fázisában egy széles körben ismert dinamikus súrlódási modell, a LuGre-modell elemzésével foglalkozunk, amely különböző paraméterek bevezetésével számos súrlódási jelenséget képes leírni, ugyanakkor hatékonyan használható numerikus szimulációk során is. A nemlineáris hatások vizsgálata érdekében egy egyszerű mechanikai modellt tekintünk: egy vízszintes felületen mozgó testet, melyre állandó külső erő, lineáris viszkózus csillapító erő és a LuGre súrlódási erő hat. Ismeretes, hogy az érintkező felületek tulajdonságaitól függően a modell állandósult állapotát a Stribeck-karakterisztika egy adott alakja írja le, amelyet az ún. Stribeck-exponens (vagy alakfaktor) jellemez. Egy korábbi kutatásunk során már beláttuk, hogy a modell belső csillapítási paramétere, az ún. sörtecsillapítás elegendően nagy értékei mellett - a szakirodalom számára eddig ismeretlen - öngerjesztett rezgések, azaz határciklusok alakulhatnak ki a Stribeck-exponens egy speciális értéke esetén, a Stribeck-karakterisztika körül. Jelen kutatásunkban azonban a LuGre-modellt a Stribeck-görbe három tipikus alakja alapján, tetszőleges Stribeck-kitevő mellett vizsgáljuk a szakirodalomban nem gyakori, három-paraméteres bifurkációs analízis segítségével. E kvalitatív vizsgálat segítségével átfogó képet kaptunk a vizsgált rendszer dinamikájáról, azaz - a mechanikai modell egyszerűsége ellenére - számos, különböző típusú és stabilitású egyensúlyi helyzetet és bifurkációt, például nyereg-csomó és Hopf-bifurkációt mutattunk be. Az összetett, három-paraméteres bifurkációs diagramok különböző tartományaiban gazdag fázistér-struktúrákat tártunk fel, melyeket a stabil megoldások száma és típusa (egyensúlyi helyzet vagy határciklus) kategorizáltunk. A kutatásunk eredményei alapján kihangsúlyozzuk, hogy a LuGre-modell paramétereinek - beleértve a Stribeck-exponenst és a sörtecsillapítást - megválasztásakor körültekintően kell eljárni, mivel a fázistér struktúrája a bifurkációk következtében jelentősen változhat a Stribeck-karakterisztika alakjától, illetve a sörtecsillapítás mértékétől függően.

Endrész Balázs

Gépészmérnöki Kar

Műszaki Mechanikai Tanszék

Szenzorfúzióval irányított rendszerek dinamikai vizsgálata

A robotikai fejlesztések és az intelligens autonóm rendszerek, mint például az önvezető platformok, technológiai érettsége napjainkra elérte azt a szintet, amely lehetővé tette a laboratóriumi keretek elhagyását. A korábban jól modellezhető és szigorúan kontrollált kísérleti környezeteket ezzel párhuzamosan felváltották a valós világ dinamikusán változó, sztochasztikus körülményei. Ezen új közegben a biztonságos és hatékony működés feltétele, hogy a gépeink képesek legyenek a környezetükből származó bizonytalanságok kezelésére, amit többek között a redundáns és komplementer érzékelési stratégiák alkalmazásával érhetnek el.

Azt a folyamatot, amelynek során különböző modalitású szenzorok adatait ötvözzük a pontosabb állapotbecslés érdekében, szenzorfúzióknak nevezzük. A szenzorfúzióban résztvevő érzékelők dinamikai és érzékelési tulajdonságai révén lehetőség nyílik egyes szenzorokkal gyorsabban vagy éppen pontosabban mintavételezni a mérnöki rendszerünket. Ez a megközelítés teszi lehetővé a rendszerek számára a zajos adatok szűrését és a környezeti változásokhoz való rugalmas adaptációt.

A szenzorfúziós stratégia hatékonyságát a természetben megfigyelhető biológiai megoldások is igazolják. Az emberi szervezet például az egyensúly megőrzése érdekében folyamatosan integrálja a vizuális ingereket, a vesztibuláris rendszer jelzéseit és a proprioceptív visszacsatolásokat. Hasonló módon, az élelmiszerek minőségének és fogyaszthatóságának megítélésekor is a látás, a szaglás és az ízlelés együttes eredményeire támaszkodunk.

A kutatás során egyszerű dinamikai rendszerek példáján keresztül kerül bemutatásra analitikus módszerek alkalmazásával, hogy az eltérő dinamikai viselkedések, mint a szenzorok mintavételezési gyorsasága, illetve egymáshoz viszonyított mintavételi fázisa miképpen befolyásolja azok dinamikai tulajdonságait. Az eredmények alapján nem csak a mintavételezési ráták aránya, de a fázisnak is jelentős hatása van a rendszer stabilitására vonatkozóan, amelyet a szakirodalom nem jelöl meg kiemelt fontosságúnak. A felbontóképesség figyelembevételével mikrokaotikus viselkedést voltunk képesek megfigyelni és tanulmányozni, jellegzetes paramétereit leírni. Az eredmények azt mutatják, hogy a véges felbontóképesség javítja a szabályozható paramétertartomány nagyságát, viszont a már korábban vizsgált mintavételezési gyorsaság hatása továbbra is fellelhető a rendszer dinamikájában.

Endrész Balázs

Gépészmérnöki Kar

Műszaki Mechanikai Tanszék

Szenzorfúzióval irányított rendszerek dinamikájának kísérleti vizsgálata

A klasszikus mérnöki tudományok jellemzően a determinisztikus folyamatok leírására koncentrálnak, azonban a modern, komplex rendszerek esetében ez a megközelítés gyakran már nem elegendő. Egy mérnöki modell akkor tekinthető sikeresnek, ha a lényeges dinamika megfelelően írja le a valóságot. A modellalkotás során tett elhanyagolások azonban zajként vagy zavaró tényezőként jelennek meg a rendszerben és pontosítani szükséges, hogy a lényeges dinamika ezekkel szemben kellően robusztus-e.

Sztokasztikus jelenségek nemcsak a modellezési pontatlanságokból fakadhatnak, hanem magából a fizikai megvalósításból is. Az intelligens gépek esetében ma már nem csupán a mechanikai modellből vagy a paraméteridentifikációból eredő hibákkal kell számolnunk, hanem az elektronikai és informatikai hálózatok zavarai is. Irányított rendszereinkben ilyenek lehetnek az egymással kommunikáló egységek közötti adatvesztések, vagy a digitális mintavételezés során fellépő csúszások és kimaradások.

A mérnöki gyakorlatban a többszenzoros rendszerek alkalmazása redundanciát biztosít, ami lehetővé teszi a feladat végrehajtását akár egy-egy érzékelő kiesése esetén is. Egy optimálisan hangolt szabályozó stabilitási és performancia tulajdonságainak garantálásához azonban elengedhetetlen ezen hibajelenségek hatásának ismerete. A mintavételi pontok véletlenszerű kimaradása nem modellezett problémákhoz vezethet: ha az érzékelt jelek nem egyenletes, kiszámítható mintavételezésből származnak, akkor előfordulhat, hogy hiába állnak rendelkezésre a szenzorjelek, mégsem kapunk megfelelő dinamikai viselkedést. Ezt a jelenséget nemcsak a kommunikációs csatornák hibái, hanem az egyes jelfeldolgozó algoritmusok ingadozó, bizonytalan futási ideje is okozhatja.

Jelen kutatás célja annak vizsgálata, hogy a többszenzoros és szenzorfúziós rendszerek viselkedését hogyan befolyásolják az esetleges szenzorkimaradások és a változó mintavételi idők. A munka során szerepet kap az egyik legelterjedtebb szenzorfúziós technika, a Kálmán-szűrő alapú módszer vizsgálata ezen zavarok jelenlétében. Az elméleti eredményeket és a módszer hatékonyságát mind szimulációs környezetben, mind valós kísérleti méréseken keresztül validáljuk.

Horváth Roland

Gépészmérnöki Kar

Műszaki Mechanikai Tanszék

Nemlineáris irányfüggő anyagmodellek fejlesztése termoplasztikus mátrixú kompozitok estén

A szálorientáció változás fontos szerepet játszik a kompozitok mechanikai viselkedésében, mivel ez a jelenség független az alkalmazott anyagmodellektől (konstitutív törvényektől) és merevebb vagy éppen lágyabb viselkedést eredményezhet. A korábbi általános megközelítések ezt a hatást elsősorban kis időlépések alkalmazásával modellezték explicit szimulációkban.

Jelen kutatásban egy új nemlineáris ortotróp anyagmodellt dolgoztunk ki folytonos szálerősítésű kompozit laminátumokra a probléma kezelésére. A modell egy nemlineáris rugalmas anyagleírást tartalmaz, amely különbséget tesz a húzó- és nyomóirányú viselkedések között, valamint figyelembe veszi az alakváltozás miatt létrejövő szálorientáció változást, amelyet a hagyományos végelelemes családok nem kezelnek, továbbá explicit megoldó mellett implicit megoldókban is alkalmazható.

A kifejlesztett anyagmodell implementálására is sor került az LS-DYNA kereskedelmi végelelemes szoftverben. Az implementáció explicit és implicit megoldókra is kiterjed, továbbá vékony héj-, illetve térfogati elemek alkalmazását is lehetővé teszi. Ezenfelül az új anyagmodellel validációs szimulációkat is futtatunk, amely számítások reprodukálták a valós mérési eredményeket. A validációs mérések két anyagra terjedtek ki, név szerint Toray Cetex® TC1225 - Standard Modulus Carbon 145 gsm UD Tape 34% RC, valamint üvegszállal erősített poliészter.

Martinovich Kristóf

Gépészmérnöki Kar

Műszaki Mechanikai Tanszék

Változó dinamikájú forgácsolási modellek stabilitás vizsgálata

Az ipari és gazdasági előrejelzések töretlenül növekvő igényt mutatnak a precíziós megmunkálási módszerekre az elkövetkezendő évtizedekben. Ennek megvalósítására a gyártási kapacitások növekedése mellett a termelékenység növelésével érhető el. A forgalomdinamika területén a fejlett vezetéstámogató rendszerek és az automatizáció jelenthet hatékony megoldást a fennálló közlekedési problémákra. Ezen célok elérését teszi lehetővé a manapság rendelkezésre álló nagy mennyiségű adat, amellyel minden eddiginél pontosabb és valósághűbb modelleket hozhatunk létre és a hatékony szabályozást lehetővé tevő valós idejű nagy számítási kapacitás. A megmunkálási és a forgalomdinamikai rendszerek hasonló mechanikai modellekre vezetnek, melyek nemlineáris, időkésllettetett egyenletekkel írhatóak le. Éppen ezért a kifejlesztett stabilitásvizsgálati módszerek és szabályozók alkalmazhatók mindkét területen. A megmunkálási folyamatoknál fellépő káros rezgések elkerülésére az iparban használnak periodikus gerjesztésen alapuló szabályozókat, mint például az orsófordulatszám-variáció. Ennek azonban számos korlátja van a beavatkozás mértéke és a sáv szélesség tekintetében. Hosszú és karcsú munkadarabok megmunkálása során elméleti számítások igazolták a periodikusan alkalmazott axiális erők által elérhető még hatékonyabb stabilizálást. A kutatás során ennek gyakorlati megvalósíthatóságát vizsgáltuk a szegnyeregbe építendő piezo aktuátorok segítségével. A szabályozóra kifejlesztett algoritmus alkalmas arra, hogy tetszőleges technológiai paraméterek esetén optimalizálja a szabályozót, így többszörösére növelve az elérhető produktivitást. A járműforgalomba tervezett szabályozóknak az emberi sofőrökkel együttműködve, úgynevezett vegyes forgalmi szituációban kell működniük. Éppen ezért elengedhetetlen az emberi sofőrök kellően pontos modellezése, hogy a szabályozók ne csak az individuális járművek esetében, hanem a forgalom egészére nézve érjenek el jelentős javulást, így csökkentve a dugók kialakulását és növelve a biztonságot. Ennek érdekében állítottunk fel egy újszerű járműkövető modellt az emberi sofőrök reakcióidejének állapotfüggő időkésllettetéssel történő realisztikus modellezésével, amely képes a mérések során és a gyakorlatban tapasztalt komplex jelenségek leírására. Ezekre alapulva az önvezető járművek és szabályozók megfelelő hangolása jelentős javulást érhet el a forgalomra nézve.

Mihályi Levente

Gépészmérnöki Kar

Műszaki Mechanikai Tanszék

Alulaktuált anholonom rendszerek stabilizálása

Az alulaktuált anholonom rendszerek stabilitásvizsgálatán belül kutatásom során járműdinamikával, azon belül pedig két - alapjaiban eltérő dinamikával jellemzett - járműtípussal foglalkozom. Ilyen mechanikai rendszerek vizsgálata a megszokottaktól (holonom) eltérő módszereket igényel elsősorban a rendszerek anholonom, azaz sebességfüggő kényszereket tartalmazó jellege miatt.

Kezdetben nehézgépjárművek, ezen belül is egy vontató és egy félpótkocsis vontatmányból álló járműszerelvény bonyolultabb, hátramenetben történő manőverezésének stabilitását vizsgáltam. Ennek eredményeként fejlesztésre került egy szabályozó algoritmus, amely a vontató jármű kormányzásán keresztül beavatkozva képes biztonságosan megvalósítani nagyfokú bonyolultságú manővereket az említett összetett járműszerelvénnyel hátramenetben. A kutatómunka jelentős részét az algoritmus mélyreható stabilitásvizsgálata tette ki mind lineáris, mind nemlineáris tartományban. A beavatkozó kormányzó szaturációjának, mint a járműtípusra jellemző szerkezeti limitációjának figyelembevétele a mechanikai modellben még megalapozottabb javaslatokat eredményezett a szabályozó hangolását illetően.

A fenti vizsgálatok során elmélyített tudásomat felhasználva kezdtem el foglalkozni a manapság nagy népszerűségnek örvendő mikromobilitási eszközökkel, ezen belül is az elektromos egykerekekkel. Ez az elsőre primitívnek tűnő, egy darab kerékből álló kompakt jármű a térben gördülő korong alapesetére vezethető vissza, ami dinamikai szempontból egyáltalán nem tekinthető egyszerű feladatnak. Mindemellett, a járművet vezető ember tömege többszöröse a jármű tömegének, ezzel egy eddig szokatlan tervezési és kutatási feladat elé állítva a járműdinamikával foglalkozó mérnököket. Kutatómunkám során kidolgoztunk egy 3 szabadságfokú modellt, ami képes leírni az elektromos egykerekes és emberi vezetője alkotta rendszer hosszirányú dinamikáját. Ezenfelül a megalkotott, embert jellemző csontvázmodell mért pozíció és orientáció adatok alapján képes az alany tehetetlenségi nyomatéki mátrixának (és annak változásának) becslésére tetszőleges mozgás megvalósítása közben, ami általánosabb alkalmazási területeken is hasznosítható.

Az elméleti kutatómunkán felül mindkét téma eredményeit erősen alátámasztottuk kísérleti úton is. Ehhez a tehergépjárművek esetében egy kisskálájú berendezést használtunk, míg az elektromos egykereket illetően valós körülmények között, kereskedelmi forgalomban kapható eszközön végeztünk méréseket.

Richlik Róbert Kristóf

Gépészmérnöki Kar

Műszaki Mechanikai Tanszék

Egyensúlyozó eszközökön való térbeli egyensúlyozás modellezése

Gördülő egyensúlyozó deszkán való emberi egyensúlyozást vizsgáltunk a sagittális síkban különböző megengedett maximális kitérés esetén 12 vizsgálati alany bevonásával. A mérés során különböző sugarú egyensúlyozó deszkákat vizsgáltunk eltérő alátámasztások mellett. Az alátámasztás mértékének növelésével nagyobb szögtartományon való egyensúlyozást tettünk lehetővé a vizsgálati alanyok számára. Így olyan kísérleti nemlineáris dinamikai vizsgálatokat végeztünk, melynek eredményeképpen az egyensúlyozó deszka sugarát, mint bifurkációs paramétert kezelve superkritikus bifurkációs jelleg volt megfigyelhető. A méréseket 12 mérési alanyon végeztük el egy előre meghatározott mérési protokoll szerint. A méréshez egy egyszerűsített mechanikai modell is készült, melynek mozgásegyenletei rávilágítottak a bokamerevséggel és emberi szabályozással kapcsolatos modellezési nehézségekre. A felmarkerezett egyensúlyozó deszka mozgását OptiTrack kamerarendszer segítségével rögzítettük, a mérésből származó adatokat MATLAB és GeoGebra szoftverek segítségével dolgoztuk fel.

Szabó Márton

Gépészmérnöki Kar

Műszaki Mechanikai Tanszék

Dinamikus integritás gyors analízise numerikus megoldáskövetéssel

A nemlineáris dinamikai rendszerek globális stabilitási és robusztussági vizsgálata kulcsfontosságú szerepet játszik a mérnöki alkalmazások biztonságos tervezésében. A klasszikus globális dinamikai analízis azonban jelentős számítási igénnyel jár, különösen nagydimenziós rendszerek és kiterjedt paramétervizsgálatok esetén, ami az ipari méretű problémák vizsgálatát gyakran ellehetetleníti. A vonzástartományok feltérképezésére szolgáló hagyományos módszerek, mint például a „cell mapping” eljárások, memóriaigényük és számítási költségük miatt szintén korlátozottan alkalmazhatók.

A kutatás egy olyan új numerikus keretrendszert mutat be, amely a dinamikus integritás fogalmára építve teszi lehetővé a stabil egyensúlyi helyzetek és periodikus mozgások robusztusságának hatékony becslését paramétervizsgálatok során. A módszer a DynIn MATLAB toolboxot és az azáltal számított lokális integritási mérőszámot (Local Integrity Measure, LIM) használja alapként és egy prediktor-korrektor eljárással egészíti ki, amely numerikus megoldáskövetést végez a paraméterter mentén. A prediktor lépés a korábbi paraméterpontokon számított integritási információk felhasználásával becsli a robusztusság és a kritikus vonzástartomány-határok változását, míg a korrektor lépésben a DynIn algoritmus biztosítja az eredmények pontosítását.

A javasolt eljárást több különböző nemlineáris rendszeren teszteltük, többek közt a gerjesztett Duffing-oszcillátoron, a nemlineáris rezgéscsillapítóval kiegészített Van der Pol-Duffing rendszeren, valamint egy nagydimenziós, önszinkronizálódó rázórosta modellen. Az eredmények azt mutatják, hogy az algoritmus 20-50% közötti számítási időcsökkenést ér el a hagyományos megközelítésekhez képest, miközben sokszor pontosabb robusztussági becsléseket szolgáltat. A módszer alkalmas izolált megoldások feltérképezésére is, ami nagy előny a szimplán numerikus megoldáskövető algoritmusokkal szemben.

Az alaplódszert még kiegészítettük kaotikus attraktorok vizsgálatára alkalmas kiterjesztéssel és vonzástartomány szekciók számítására alkalmas algoritmussal is, ez jelentős lépést jelent a dinamikus robusztusság elemzésének gyakorlati mérnöki alkalmazása felé.

Plavec Lambert

Gépészmérnöki Kar

Műszaki Mechanikai Tanszék

Ütközési sokk és törés karakterizációja és előrejelzése MEMS szenzorban

A MEMS (micro-electromechanical system, mikro-elektromechanikai rendszer) gyorsulásmérő szenzorok a mindennapjaink részét képezik, jelen vannak telefonokban, okoseszközökben, de autókban, elektromos rollerekben és drónokban is. A mindennapi használat során az eszközök, amelyek a szenzorokat tartalmazzák, véletlenül leeshetnek vagy ütközhetnek. A szenzorok a kis méretükből adódóan nehezen javíthatók vagy cserélhetők, így az ütésállóságot a szenzor teljes élettartama alatt biztosítani kell.

A legegyszerűbb ütközési eset a szenzortokozás önmagában való padlóra ejtése, amely tesztettként is gyakori. A probléma több szinten értelmezhető, amelyek különböző méret- és időskálával rendelkeznek, úgymint a hordozó eszköz, a szenzortokozás és a szenzorstruktúra szintje. Ehhez jöhet még a struktúra anyagának mikroszerkezete. A szintek lényege, hogy az alacsonyabb szinthez kapcsolódó tömeg nagyságrendekkel kisebb, így az alacsonyabb szintek nem hatnak vissza a magasabb szintek viselkedésére.

Kutatásom során a MEMS szenzorok törését a különböző szintekhez tartozó explicit végelelemes szimulációkkal vizsgálom, különös tekintettel a tokozásejtés irányfüggésére és a struktúra tönkremeneteli módjaira. A szimulációkat kifejezetten erre a célra tervezett MEMS tesztstruktúrák gyorskamerával rögzített ejtéstesztjeivel validálom.

GAZDASÁG ÉS TÁRSADALOMTUDOMÁNYI KAR
GAZDASÁG- ÉS ÜZLETI TUDOMÁNYOK

Holczinger Norbert

Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

Pénzügyek Tanszék

A szabályozás szerepe a pénzügyi intézmények fenntarthatósági ösztönzésében

A környezeti fenntarthatóság egyre fontosabb szerepet játszik a pénzügyek területén, így a központi bankok tevékenységében is. A jegybankokra kulcsszerep hárul a fenntarthatósági kockázatok kezelése és a zöld finanszírozások ösztönzése révén. Kutatásom célja a jegybanki és felügyeleti intézkedések hatásának értékelése a pénzügyi intézmények fenntarthatósági törekvéseire, illetve a zöld pénzügyi piac fejlődésére. Ennek érdekében vizsgálom a központi bankok által alkalmazott eszközöket, azok bevezetésének és alkalmazásának következményeit, hatékonyságát. A hitelintézetek tőkeszabályozásának, a vonatkozó felügyeleti intézkedéseknek kulcsszerepe van a fenntarthatósági finanszírozásban. A fenntarthatósági szempontok megjelenése ugyanis kibővítette a bankok tradicionális, a biztonságos működés és a jövedelmezőség közötti átváltásra fókuszáló döntési helyzetét, létrehozva a zöld trilemmát. A hitelintézeteknek immár e három cél között szükséges megtalálniuk az egyensúlyt. A zöld trilemma formális modelljének megalkotása, illetve elemzése rámutat a zöld hitelezést támogató ösztönzők szükségességére. Megoldást jelenthet a zöld differenciált tőkekövetelmények bevezetése, melynek alkalmazásáról azonban kevés empirikus tapasztalat áll rendelkezésre. Utóbbiak közé tartozik a Magyar Nemzeti Bank Zöld tőkekövetelmény-kedvezmény programja (TKK), amely úttörő kezdeményezés a témában. A program a zöld finanszírozás ösztönzése mellett számottevően hozzájárul a környezeti célok eléréséhez is, mindezt költséghatékony módon. Eredményeink alátámasztják a TKK program hatékonyságát: a prudenciális kockázat jelentős növekedése nélkül a TKK hozzájárul a széndioxid-kibocsátás jelentős mértékű csökkenéséhez. Kutatásom másik fő iránya a központi bankok fenntarthatósági teljesítményének mérése. A jegybankok ugyanis eltérő megközelítéseket alkalmaznak, így „zöld” aktivitásuk is különbözik. Vizsgálatomat az egyik legismertebb zöld jegybanki rangsor, a G20 államokra és Magyarországra elérhető Green Central Banking Scorecard (GCB) statisztikai elemzésével kezdtem. A GCB vizsgálata rámutat az egyes értékelési dimenziók szerepére és a hasonlóan teljesítő jegybanki csoportokra. Az eredmények a GCB értékelési szempontjai, valamint a lefedett jegybankok zöld aktivitása közötti összefüggések megértése mellett a Magyar Nemzeti Bank környezeti fenntarthatósági tevékenységét is segítenek elhelyezni a nemzetközi térben. Összességében kutatási eredményeim a központi bankok és pénzügyi felügyeleti intézkedéseinek megértését, hatékonyságuk növelését szolgálják, ezáltal támogatják a fenntarthatósági átmenetet.

Molnár László

Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

Menedzsment és Vállalkozásgazdaságtan Tanszék

Üzleti modell innováció, mint a digitális transzformáció eredménye

A doktori kutatásom a digitális transzformáció és az innováció szerepét vizsgálja a videojáték-ipari startupok teljesítményében. A szektor sajátossága, hogy működését folyamatos technológiai disruptív változások formálják - platformizáció, live service modellek, adatvezérelt fejlesztés, közösségi finanszírozás és globális digitális disztribúció -, amelyek radikálisan átalakítják az értékteremtés és értékmegragadás logikáját. A kutatás központi kérdése, hogy e dinamikus környezetben milyen innovációs és üzleti modell-döntések járulnak hozzá a startupok sikeréhez, illetve milyen tényezők vezetnek bukáshoz.

Elméleti keretét a digitális transzformáció szervezeti megközelítései, az üzleti modell innováció irodalma, valamint a digitális ökoszisztéma-elméletek adják. A vizsgálat fókuszában az áll, hogy a korai fázisú videojáték-fejlesztő vállalkozások miként képesek technológiai és szervezeti innovációt integrálni működésükbe, hogyan kezelik a platformfüggőséget, a gyors piacra lépési kényszert és a nemzetközi versenyt, valamint milyen stratégiai adaptációs mintázatok azonosíthatók teljesítményükben.

A kutatás vegyes módszertant alkalmaz. A kvalitatív szakasz szakértői interjúkra és esettanulmányokra épül, feltárva a fejlesztők stratégiai döntési logikáit és innovációs gyakorlatait. A kvantitatív vizsgálat primer adatfelvétel és másodlagos iparági adatok elemzésével azonosítja a teljesítmény és az innovációs tényezők közötti kapcsolatokat. A jövőben design science és action learning megközelítések erősítik a módszertanomat.

Továbbá kutatom, hogy az egyetemek miként tudják támogatni a digitális transzformációra képes, innovatív videojáték-ipari vállalkozások létrejöttét és fejlődését kompetenciafejlesztés, interdiszciplináris tudástranszfer és vállalkozásorientált képzési modellek révén. A cél egy olyan integrált keretrendszer kialakítása, amely hozzájárul a hazai kreatív digitális ökoszisztéma versenyképességének erősítéséhez.

Lülök Gergely

Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

Menedzsment és Vállalkozásgazdaságtan Tanszék

Kvantitatív projektmenedzsment módszerek innovatív alkalmazása és mesterséges intelligenciával történő integrációja

A technológiai fejlődés és a digitalizáció alapjaiban formálja át a vállalati működést, valamint a komplex ipari beruházások kezelését. Kutatásunk célja egy olyan átfogó keretrendszer megalkotása, amely a makroszintű adatelemzést közvetlenül összekapcsolja a mikroszintű operatív projektmenedzsmenttel. A kutatás első pillére egyrészt az európai uniós tagállamok digitális érettségét értékeli, másrészt egy átfogó szakirodalmi kutatásra támaszkodva térképezi fel a mesterséges intelligencia világszintű ágazati adaptációját. Az európai helyzetkép megalkotásához többdimenziós statisztikai eljárások bevonásával robusztus értékelési modellt hoztunk létre. Az eredmények rendkívül éles régiós különbségekre világítanak rá, egyértelműen kiemelve az északi államok vezető szerepét. A globális szakirodalom szisztematikus feldolgozása eközben rámutatott, hogy a világszintű trendek egyre inkább a fenntarthatóságot és az infrastrukturális fejlesztéseket célozzák fejlett mélytanulási algoritmusokkal, míg a lemaradó régiókban továbbra is a klasszikus felügyelt tanulás az uralkodó. Világméretű tendenciaként azonosítottuk továbbá, hogy a mesterséges intelligenciával kapcsolatos szorongás komoly pszichológiai gátat képez a vállalati integráció útjában földrajzi elhelyezkedéstől függetlenül.

A makrostatisztikai eredményekre és a globális ágazati trendekre építkezve a kutatás második pillére a gyakorlati projektmenedzsment módszertanok megújítására koncentrál. A nemzetközi ipari projektek kivitelezése során a váratlan krízishelyzetek kezelése mindennapos kihívás. Kutatásunk egy olyan hibrid döntéstámogató modellt mutat be, amely sikerrel ötvözi a gráfelméleti optimalizációt a generatív nyelvi modellek képességeivel. A modell a beruházási folyamatokat irányított gráfként reprezentálja, majd algoritmikusan azonosítja az optimális és költséghatékony folytatási útvonalakat, kiemelt figyelmet fordítva a likviditás megőrzésére egy esetleges váratlan partneri fizetésképtelenség bekövetkezésekor.

A felvázolt módszertan legfőbb innovációja, hogy határozottan elválasztja a matematikai pontosságot igénylő számítási feladatokat a pusztán szöveges feldolgozástól. Míg a deklaratív szabályrendszeren nyugvó gráfelemzés maradéktalanul garantálja a tervezési adatok hitelességét, a generatív algoritmus egy interaktív felületet nyújt a felhasználók számára. Ez a humánközpontú megközelítés biztosítja a döntéshozóknak, hogy extrém időnyomás alatt, természetes nyelven futtassanak dinamikus forgatókönyv elemzéseket. A kidolgozott módszertan a gyakorlati ipari környezetben közvetlenül bevethető, adatalapú válságmenedzsment eszközt ad a vezetők kezébe a költséghatékony projektmegvalósítás garantálására.

Szemere Dorottya

Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

Menedzsment és Vállalkozásgazdaságtan Tanszék

Globális minták, helyi megoldások: hogyan csökkenthető az autós forgalom a belvárosban a mikromobilitási eszközök segítségével?

Az Európai Unió az Európai Zöld Megállapodás keretében rögzítette, hogy 2050-re Európának a világ első klímasegélyes kontinensévé kell válnia. Ennek a célnak az elérésében a közlekedési szektor kiemelt szerepet játszik, mivel a kibocsátások jelentős része ehhez az ágazathoz köthető. A városokra ezért egyre nagyobb nyomás nehezedik, hogy olyan mobilitási megoldásokat vezessenek be, amelyek csökkentik a gépjármű használatot és a kapcsolódó környezeti terhelést.

Az elektromos rollerek zéró helyi kibocsátásuk, költséghatékonyságuk és rugalmasságuk révén megfelelő alternatívát jelenthetnek a rövid (10 km alatti) városi utak megtételére a hagyományos meghajtású gépjárművekkel szemben. Ugyanakkor integrációjuk a meglévő közlekedési rendszerbe komplex szabályozási, infrastrukturális és társadalmi kihívásokat vet fel. Ennek megfelelően két kutatási kérdés került megfogalmazásra: (1) milyen kihívásokkal szembesülnek a budapesti kerületek az e-rollerek megjelenése óta, (2) milyen megoldásokat és bevált gyakorlatokat alkalmaznak ezek kezelésére.

A feltáró jellegű kutatás több módszert kombinált. Félig strukturált interjúk készültek Budapest 16 kerületének szakembereivel (várostervezés, közútkezelés, fenntarthatóság, beruházás), valamint a Budapesti Közlekedési Központ és a Jövő Mobilitása Szövetség képviselőivel is. Ezt egészítették ki a 2025 januárja és 2026 februárja között szervezett nemzetközi fókuszcsoporthoz tartozó interjúk, amelyek az EIT Urban Mobility hálózatán keresztül bevont kormányzati szereplők, szolgáltatók, kutatók és civil szervezetek képviselőinek részvételével zajlottak. Az elemzésbe beépítésre kerültek a 2024-es kérdőíves felmérés eredményei is, amelynek során 292 magyarországi e-roller-használó szabályozáshoz kapcsolódó attitűdjeit vizsgáltam.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy az elektromos rollerek integrációja nem csupán szabályozási kérdés, hanem komplex rendszertervezési kihívás. A siker feltétele, hogy a szabályozási szempontok úgy érvényesüljenek, hogy közben a közlekedésben résztvevők alapvető elvárásai - az idő- és költséghatékonyság, a biztonság és a fenntarthatóság - ne sérüljenek; ez a megközelítés a human-centred mobility paradigmáival írható le. A kutatás során kidolgozott modellek (SEIMP, Strategic Governance Model) ezt a folyamatot támogatják.

A gyakorlati következtetések konkrét szakpolitikai irányokat jelöltek ki úgy, mint a flottaméret szabályozása; fizikailag egyértelműen elhatárolt parkolási zónák kialakítása; a szabályozási keretek egységesítése és a kerületek közötti koordináció erősítése; kötelező adatmegosztási rendszerek és térinformatikai elemzések alkalmazása; a szolgáltatások kiterjesztése az elővárosi területekre; differenciált sebességszabályozás és geofencing bevezetése; valamint a mikromobilitás integrálása a közösségi közlekedési rendszerbe. Emellett kiemelt szerepe van az edukációnak és a helyi közösségek bevonásának.

A további kutatás célja a szolgáltatói adatok bevonásával az autóhasználat csökkentésére irányuló scénáriók adataalapú vizsgálata.

Varga Levente

Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

Pénzügyek Tanszék

A monetáris politika kihívásai a XXI. században

Az 1990-es évek eleje és a közelmúlt válságévei között Japánban tartósan alacsony, zéróközeli, egyes periódusokban negatív kamatszintek mellett is gyenge növekedési dinamika és alacsony (időnként negatív) infláció együttes fennállása volt jellemző. A jegybank és a kormány több nagyszabású, részben összehangolt intézkedéscsomagot is bevezetett, ám áttörést egyik sem hozott; a szigetország gazdaságát végül az energiapiaci exogén sokk mozdította ki a hosszan tartó stagnálásból.

A Bank of Japan a nullaközeli, majd negatív kamatpolitikával párhuzamosan a 2000-es évek elejétől egyre merészebb, a pénzmennyiség alakítására irányuló nemkonvencionális eszközöket is alkalmazott, ám ezek hatása korlátozott maradt. A kormány strukturális reformjai ugyancsak elégtelennek bizonyultak; a globális pénzügyi válság és a fukusimai katasztrófa kezelésére adott fiskális politikai válaszok és szociális kiadások az államadósságot „világrekord” közelébe növelték, miközben a kilábalást egyéb, demográfiai jellegű kihívások is nehezítették.

Kutatásunk Richard A. Werner vitatott makrogazdasági perspektívájára épül, melyet Japán tartós gazdasági stagnálásának tanulmányozása nyomán alkotott. Werner felfogása szerint a monetáris politika hangsúlyát a kamatcsatornáról a hitelallokáció célzott koordinációjára kellene helyezni, hiszen csak a reálgazdaság finanszírozása nyomán megvalósított produktív beruházások képesek hosszú távon érdemben javítani a fenntartható növekedési potenciált.

Tanulmányunkban a gazdasági aktivitás, az infláció és a pénz-, illetve fókuszáltan a hitelmennyiség közti kapcsolat természetét elemezzük, hogy feltárjuk: miért bizonyult korlátozott hatásúnak a nemkonvencionális kamatpolitika és pénzmennyiség bővítése Japánban? Egyúttal arra is keressük a választ, hogy vajon a reálgazdaságba csatornázott beruházási hiteltömeg érdemben beindíthatta volna a gazdasági növekedést?

Mindezek megválaszolásához vektor hibakorrekciós (VEC) keretrendszer alkalmazunk a japán makrogazdasági indikátorok több évtizedes idősoraira, ami lehetővé teszi a rövid távú dinamikák és a hosszú távú egyensúlyi állapot együttes tanulmányozását. A kutatás eredményei megerősíthetik, hogy a monetáris politika eszköztárának újragondolása időszerű és szükséges.

Zsiros Ádám János

Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

Közgazdaságtan Tanszék

A villamosenergia-rendszer energiatárolási szükségleteinek statisztikai alapú vizsgálata gazdasági és rendszerüzemeltetési szempontok mentén

Az európai energiapolitikát jelenleg a fosszilis energiahordozóktól való (import)függetlenedés és a 2050-ig elérendő karbonsemlegesség kettős célkitűzése vezérli, amely az időjárásfüggő megújuló energiaforrások gyors térnyerését ösztönzi. Ez a strukturális átalakulás azonban új rendszerüzemeltetési kihívásokat hozott felszínre: a nap- és szélenergia kiszámíthatatlan termelése miatt az európai villamosenergia-piacokon megnövekedett a negatív és a kiugróan magas árú órák száma. A jelen kutatás célja ezen piaci torzulások kezelésében kulcsszerepet játszó energiatárolási szükségletek statisztikai alapú, gazdasági és rendszerüzemeltetési szempontokat ötvöző feltárása. A vizsgálat elsődleges fókuszja nem egy konkrét technológia értékelése, hanem annak meghatározása, hogy mekkora és milyen típusú - napi ciklusú vagy szezonális - tárolókapacitás illeszthető be gazdaságosan és rendszerszinten fenntartható módon az európai energiamixbe. A módszertan két fontos pillérre tagolódik: az EU-27 országok 2019 és 2025 közötti órák ár-idő sorainak leíró statisztikai és klaszteranalízisen alapuló vizsgálatára, valamint a különböző tárolótechnológiák DCF-alapú megtérülésszámítására egyszerű szabályalapú és optimalizált profitmaximalizáló stratégiák mentén. A kutatás újszerűsége abban rejlik, hogy nem csupán a tárolók, mint piaci szereplők pénzügyi életképességét elemzi, továbbá vizsgálja, hogy milyen hatással lehet a rendszer áaira az energiatárolók megjelenése. A várt eredmények strukturált információt nyújtanak a befektetők számára a várható hozamszintekről, miközben a szabályozók számára is tudományos alapot szolgáltatnak olyan célzott ösztönzőmechanizmusok kialakításához, amelyek elősegítik a hálózati stabilitást és az ellátásbiztonság növelését. A kutatás társadalmi haszna az árvolatilitás mérséklésén, az átlagárak csökkenésén és a fosszilis termelők fokozatos kivonásának felgyorsításán keresztül érvényesül, hozzájárulva az európai versenyképesség erősödéséhez és a környezeti fenntarthatósághoz.

Surman Vivien

Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

Menedzsment és Vállalkozásgazdaságtan Tanszék

SQM a magyar vállalatok működésében

A fenntarthatóság vállalati integrációja az elmúlt években a stratégiai gondolkodás egyik kulcstényezőjévé vált, különösen a mikro-, kis- és középvállalatok esetében, ahol a vezetői döntések közvetlenül formálják a szervezeti gyakorlatokat. A nemek szerepének vizsgálata ebben a kontextusban kiemelt jelentőségű, mivel a fenntarthatóság értelmezése és prioritásai nagymértékben függenek a vezetői percepcióktól és értékrendszerektől.

A kutatás alapját egy 2022-ben végzett kérdőíves adatfelvétel képezi, amelyben 808 magyar vállalatvezető vett részt. Az eredmények értelmezését egy 2025-ben, kérdőíves formában megvalósított kiegészítő adatfelvétel támogatja, amely 30 magyar ESG-szakértő válaszait dolgozza fel.

Az eredmények alapján a fenntarthatósági szempontok integrációja szoros kapcsolatban áll a vállalati teljesítmény értelmezésével. Azok a vállalatok, amelyek a pénzügyi mutatókon túl fenntarthatósági dimenziókat is figyelembe vesznek, nagyobb valószínűséggel tulajdonítanak jelentőséget a társadalmi és környezeti pilléreknek, amelyek egymással is erősebb kapcsolatot mutatnak, mint a gazdasági dimenzióval. A vezetői szintű fenntarthatósági tudás kulcsszerepet játszik: ennek hiányában a fenntarthatóság ritkábban válik a teljesítményértékelés részévé. A közelmúltbeli fejlesztések és a nyereségesség szintén együtt járnak a fenntarthatósági orientáció erősebb jelenlétével, ami arra utal, hogy az innovációs folyamatok egyre inkább integrálják e szempontokat.

A fenntartható fejlődési célokhoz (SDG-k) kapcsolódó vállalati attitűdök széles körben beágyazottak: relevanciájuk megítélését számos szervezeti tényező befolyásolja, míg az ezekhez kapcsolódó konkrét akciók elsősorban társadalmi nyomás, valamint a társadalmi és környezeti fenntarthatósági dimenziók fontosságának megítélése mentén alakulnak.

A nemek szerinti elemzés differenciált mintázatokat tár fel. A női vezetők nagyobb arányban integrálják a fenntarthatósági szempontokat a vállalati sikeresség értékelésébe és erőteljesebb társadalmi, illetve munkavállalói nyomást érzékelnek. Ezzel párhuzamosan hangsúlyosabban értékelik a társadalmi fenntarthatóságot, valamint nagyobb nyitottságot mutatnak az együttműködésen alapuló megközelítések iránt. Ugyanakkor esetükben gyakoribb, hogy a pénzügyi eredményesség és a szubjektív elégedettség nem esik egybe, ami a teljesítmény komplexebb értelmezésére utal. A férfi vezetők ezzel szemben a gazdasági fenntarthatóságot tekintik elsődlegesnek, vállalataik körében nagyobb arányban jelennek meg fejlesztések, valamint bizonyos - különösen energia- és technológiafókuszú - SDG-khez kapcsolódó kezdeményezések.

A szakértői minta visszajelzései megerősítik, hogy a fenntarthatósági gyakorlatok kialakulásában a vezetői attitűdök és a külső nyomások együttesen játszanak szerepet és a nemek közötti különbségek elsősorban az értelmezési keretek és prioritások szintjén jelennek meg. A kutatás rámutat arra, hogy a fenntarthatóság vállalati integrációja nem írható le egyszerű dominancia mentén.

HUMÁN- ÉS TÁRSADALOMTUDOMÁNYOK

Prémus Karina

Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

Ergonómia és Pszichológia Tanszék

A Z generációt foglalkoztató társadalmi problémák feltárása a social design szemléletében

A társadalmi célú tervezés (social design) napjainkban egyre fontosabb szerepet tölt be a design, a technológia és a társadalomtudományok területén, különösen azokban a megközelítésekben, amelyek a társadalmi igazságosságot, közösségi részvételt és fenntarthatóságot helyezik előtérbe.

Jelen kutatásom célja, hogy a Z generáció gondolatait vizsgáljam, illetve feltárjam, hogy a fiatalok milyen attitűdöket, félelmeket, reményeket és jövőre vonatkozó elvárásokat fogalmaznak meg a társadalmi problémákkal kapcsolatban.

A kutatás motivációja személyes érdeklődésemből és elköteleződésemből ered a társadalmi felelősségvállalás és a design társadalomalakító szerepe iránt, valamint abból a meggyőződésemből, hogy a social design szemlélete hidat képezhet a kreatív tervezői gondolkodás és a társadalmi érzékenység között.

A kutatás kvalitatív módszertanra épül és a Youth Talks szervezet 2022-ben készített interjúit elemzem, amit európai (8 fő francia, 5 fő finn és 7 fő román nemzetiségű) és USA-ban élő (8 fő) fiatalok adtak. A céloom nem a statisztikai általánosítás, hanem értelmező jellegű következtetések levonása, a fiatalok jövőképeinek, félelmeinek és elvárásainak társadalmi problémacsoportokba rendezése.

Jancsó Veronika

Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

Filozófia és Tudománytörténet Tanszék

A politikai kivágás és átkeretezés technikái a magyar médiában 2020 után

A kutatásom célja a kivágáson és átkeretezésen alapuló médiamanipulációs technikák feltárása és rendszerezése a magyar politikai kommunikációban 2020 után. Az általam vizsgált manipulációs forma nem hamis információ terjesztésére épül, hanem a meglévő tartalmak kontextusból való kiragadására, amely torzítja az eredeti jelentést és félrevezető következtetésekhez vezethet. A jelenség különösen az online térben gyakori, ahol egy-egy félmondat vagy rövid idézet kiemelésével építenek új, politikai célú narratívákat. A dolgozatom alapvető kérdése, hogy milyen módon jelennek meg ezek a tartalomtorzítások a magyar médiában, milyen narratív struktúrák és politikai célok húzódnak mögöttük, valamint milyen felismerhető nyelvi és vizuális mintázatokkal működnek.

A vizsgálat kvalitatív tartalomelemzésen alapul, forrásként magyar online médiumok (például Index, Telex, Origo, Mandiner, 444) tartalmait használom, különösen olyan eseteket kiemelve, amelyek vitát váltottak ki az idézés pontossága vagy kontextusa miatt. Az esettanulmányokban a kontextusmegvonás, a narratív átrendezés és a címadás szerepét elemzem, célom egy tipológia kialakítása az ilyen típusú manipulációkról.

Összefoglalva a célkitűzésem különböző politikai célú torzítási technikák mintázatainak azonosítása és rendszerezése, valamint annak bemutatása, hogy ezek miként befolyásolják a közéleti diskurzust.

Molnár Marietta

Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

Ergonómia és Pszichológia Tanszék

A mesterséges intelligencia szerepe a felhasználó-központú szoftverfejlesztés gyakorlatában

A mesterséges intelligencia (AI) térnyerése alapvetően formálja át a szoftverfejlesztés és a digitális terméktervezés gyakorlatát, jelentős hatást gyakorolva a felhasználói élmény (UX) munkafolyamataira és kompetenciaelvárásaira egyaránt. Jelen kutatás célja a szoftverfejlesztéssel foglalkozó szervezetek felhasználó-központú munkafolyamatainak vizsgálata, különös tekintettel az AI eszközök UX tevékenységekre gyakorolt hatására. A vizsgálat fókuszában a szoftverfejlesztési folyamat felhasználó-központú lépéseinek megismerése, az alkalmazott UX módszerek feltérképezése, valamint az AI eszközök integrációjának tudatossága áll. A kutatás a szervezeti gyakorlaton túl kiterjed a UX szakemberek egyéni AI használati szokásaira és a technológiával kapcsolatos attitűdjeik átfogó megismerésére is.

A kutatás vegyes módszertant alkalmaz, kvantitatív és kvalitatív vizsgálatokat egyaránt bevonva. Online kérdőív segítségével (n=300) feltárásra kerülnek a jelenlegi UX trendek és az AI technológiához kapcsolódó attitűdök magyar UX szakemberek körében. A kérdőív terjesztése közösségi média felületeken (pl. LinkedIn), releváns szakmai csoportokban (pl. UX Budapest) és UX szakemberek direkt megkeresésével valósul meg. Félig strukturált interjúsorozat (n=20) keretében különböző profilú szoftverfejlesztő vállalatok UX munkafolyamatait tárjuk fel, megismerve az ipari gyakorlatok folyamatlépéseit és az alkalmazott AI eszközök szerepét. A UX szakemberekkel szemben támasztott kompetenciaelvárások vizsgálatára a LinkedIn állásportálon elérhető hirdetések szisztematikus tartalomelemzést végzünk (n=800), különös tekintettel a leggyakoribb UX szerepkörökre. Az elemzés során kiemelt figyelmet fordítunk az AI-releváns készségekre vonatkozó elvárások azonosítására.

A kutatás várhatóan betekintést nyújt a szoftvervállalatok UX gyakorlataiba és AI eszközhasználatába. Az ipari gyakorlat tudományos igényű feltárása révén az AI eszközök UX munkafolyamatokba történő integrációja holisztikusan tanulmányozható, kontextuális jellegzetességeket figyelembe véve. Az eredmények útmutatóként szolgálhatnak azon szakemberek számára, akik az AI eszközöket optimálisan kívánják adoptálni felhasználó-központú folyamataikba, hozzájárulva az emberközpontú megközelítés tudásbázisának gazdagításához.

Schweigert-Kisida Krisztina

Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

Ergonómia és Pszichológia Tanszék

Hatékony és produktív munkakörnyezet a Z generáció perspektívájából

Jelen kutatás a munkakörnyezeti tervezés és a munkakörülmények kérdéskörét vizsgálja a magyarországi Z generáció perspektívájából. A tanulmány ezen generáció munkahelyválasztási preferenciáit, elvárásait és motivációs tényezőit tárja fel, figyelembe véve változatos munkatapasztalataikat, beleértve a foglalkoztatásban való korai részvételüket is. Specifikus igényeik megértése kritikus fontosságú a fiatal tehetségeket bevonítani és megtartani kívánó munkáltatók számára. Saját kvantitatív felmérésünk szerint, a 739 fős Z generációs válaszadói mintánk 88,5%-a már megjelent a munkaerőpiacon tanulmányai mellett, diákmunka, gyakornoki pozíció, részmunkaidős vagy teljes munkaidős foglalkoztatás formájában. Kutatásunk vizsgálati tárgya annak elemzése is, hogy a már megszerzett piaci tapasztalat befolyásolhatja-e a munkahelyről alkotott nézeteiket.

Primer kutatásunk egy közös doktori együttműködés keretében valósult meg és 739 Z generációs válaszadó által kitöltött kérdőív elemzésén alapult. A magyarországi Z generáció alapvető preferenciáinak azonosítása céljából kutatásunk olyan munkahelyválasztási preferenciákat vizsgált, mint a jó munkahelyi légkör (vállalati kultúra), a rugalmas munkakörülmény (munkaidő, munkarend), a munka-magánélet egyensúlya, a karrierépítési lehetőségek, a stabilitás és hosszú távú biztonság, az érdekes, szakmai kihívást jelentő feladatok, a munkakörnyezet (fizikai környezet), a külföldi munkavégzési lehetőség és a vállalati küldetés. Az eredmények konzisztens mintázatot mutatnak elvárásaikban mind a fizikai munkakörnyezet (a válaszadók 29%-a priorizálta), mind a rugalmas munkakörülmények (a válaszadók 67,9%-a priorizálta) tekintetében. A vonzó fizikai munkakörnyezet és a rugalmas munkavégzési lehetőségek prioritása nem mutatott szignifikáns eltérést a Z generáción belüli, eltérő munkatapasztalattal rendelkező csoportok között. Ez arra enged következtetni, hogy e preferenciák stabil elvárásokat jelentenek e generáció számára, nem pedig olyanokat, amelyek a karrier szakaszával változnak. A munka-magánélet egyensúlya továbbra is kiemelt prioritás maradt, amelyet a válaszadók 67,3%-a választott. Érdekes módon a pozitív munkahelyi légkör került ki a legjelentősebb tényezőként, amelyet a válaszadók 70,4%-a priorizált.

Ezen felismerések jelentős gyakorlati értékkel bírnak a munkáltatók és a humánerőforrás-szakemberek számára. A Z generáció igényeinek felismerésével és beépítésével a szervezetek hatékony stratégiákat dolgozhatnak ki az alkalmazotti elégedettség és a munkaerő-megtartás támogatására.

A jövőbeli kutatások szempontjából jelentős potenciál rejlik az intergenerációs összehasonlító tanulmányokban más generációkkal (elsődlegesen az Y és X generációkkal), hiszen az átfogó ismeret hozzájárulhat az adaptívabb humánerőforrás-stratégiák kidolgozásához, elősegítve egy produktív munkaerőpiac kialakítását, amely képes kezelni a különböző generációk sokrétű igényeit.

Hortay Olivér

Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

Pénzügyek Tanszék

Az energiaválság és az orosz-ukrán háború hatása az energiaszegénységre Európában

Az energiaszegénység az Európai Unió egyik legsúlyosabb társadalmi és szakpolitikai kihívásává vált az elmúlt években. Kialakulásában meghatározó szerepet játszanak a jövedelmi különbségek, az oktatási egyenlőtlenségek, valamint az orosz-ukrán háború és a tágabb értelemben vett, egymást erősítő válságok hatásai. A kutatás során azt vizsgáltam, hogy milyen főbb tényezők befolyásolják az energiaszegénységet, különös tekintettel arra, hogy a háztartások képesek-e megfelelően fűteni az otthonaikat, illetve időben be tudják-e fizetni a közüzemi díjaikat.

Az elemzés bináris logisztikus regressziós modellekre épül és olyan kulcsváltozókat vizsgál, mint az iskolai végzettség, a háztartás jövedelmi helyzete és a településtípus. A kutatás alapját az Európai Unió tagállamaiban 2022 és 2024 között évente felvett, reprezentatív lakossági adatfelvételek adják, összesen mintegy 72 ezer válaszadóval. Az eredményeket éves bontásban mutatom be, ami jól érzékelteti az időbeli változásokat.

Eredményeim szerint az alacsonyabb iskolai végzettségű és rosszabb anyagi helyzetű háztartások jóval nagyobb eséllyel válnak energiaszegénnyé. A településtípus hatása ezzel szemben korlátozott: érdemi eltérés csak a kisebb településeken, falvakban és községekben élők esetében figyelhető meg, ahol valamivel kisebb a közüzemi hátralékok kialakulásának valószínűsége. A legerősebb magyarázó tényező ugyanakkor egyértelműen a jövedelmi helyzet: ez döntően meghatározza mind a megfelelő fűtés biztosításának képességét, mind a számlatartozások elkerülését. A jobb és rosszabb helyzetben lévő háztartások közötti különbség ráadásul évről évre nőtt, így 2024-re tovább mélyült a jövedelmi alapú kitettség.

A tanulmány végül rámutat arra is, hogy az oktatás hatása időben változik és összefügg az elérhető erőforrásokkal, valamint a lakóhely jellegével is.

Egres Dorottya

Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

Filozófia és Tudománytörténet Tanszék

Argumentatív affordanciák - A platformdesign hatása az érvelésre a közösségi médiában

A kutatás a közösségi médiában folytatott kommunikációt az érvelés egy sajátos makrokontextusaként vizsgálja és azt elemzi, hogy a technológiai és intézményi feltételek miként alakítják az érvelési gyakorlatokat. A pragma-dialektika elméleti keretére építve a közösségi média önálló kommunikációs területként kerül meghatározásra, amelynek intézményi célja a kapcsolódás, domináns műfaja pedig a megosztás. Ezen a területen a kommentszekciókban zajló nyilvános vita egy jellegzetes, ugyanakkor csak esetlegesen érvelő tevékenységtípusként értelmezhető, ahol az érvelés gyakorisága ellenére sem elsődleges szervezőelv, csupán az interakció egyik lehetséges formája.

A kutatás első része a közösségi médiában folytatott érvelés átfogó elméleti leírását adja, azonosítva annak alapvető jellemzőit: a polilogikus részvételt, a fragmentált interakciót és a multimodalitást. Ezek a jellemzők nem kizárólag analitikai nehézségeiként jelennek meg, hanem olyan konstitutív feltételekként, amelyek között az érvelés szerveződik. A kutatás továbbá újraértelmezi a pragma-dialektika normatív modelljeként ismert kritikai vita szakaszait és szabályait az aszinkron részvétel, a folyamatosan változó közönség és a lezárás intézményes hiányának fényében, miközben kiemeli a stratégiai manőverezés szerepét a hallgatói elvárások, a topikus potenciál és a prezentációs eszközök tekintetében.

A kutatás második része ezt a keretet az „argumentatív affordanciák” fogalmának bevezetésével bővíti, a technológiai affordanciák elméletének adaptálásával. A kutatás azt vizsgálja, hogy az olyan platformfunkciók, mint a hiperlinkek használata, a válaszolás, a megjelölés (tagging), a reakciók (like, megosztás etc.), a moderáció vagy az anonimitás miként strukturálják az érvek megfogalmazásának, megvitatásának és értékelésének lehetőségeit. Ezek az affordanciák nemcsak a hozzászólások láthatóságát és jelentőségét befolyásolják, hanem az érvelési szerepek eloszlását, a közönségképződés dinamikáját, valamint az érvek észlelt erejét és fogadtatását is.

A kutatás amellett érvel, hogy a közösségi médiában zajló érvelés nem érthető meg az intézményi feltételek és a platformdesign kölcsönhatásának figyelembevétele nélkül. A pragma-dialektikai megközelítésnek és az argumentatív affordanciák perspektívájának integrálásával a kutatás hozzájárul az érveléstudomány továbbfejlesztéséhez a digitálisan közvetített kommunikáció kontextusában és új irányokat jelöl ki mind az empirikus kutatás, mind a normatív reflexió számára az érvelések dinamikájáról algoritmikusan mediált, változóan többszereplős környezetekben.

Karakas Alexandra

Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar

Filozófia és Tudománytörténet Tanszék

A növényrajz, mint tudományos diskurzus: Csapody Vera és a 20. század botanikai illusztrációi

Kutatásom célja, hogy Csapody Vera botanikai illusztrációit a vizuális reprezentációk episztemikus szerepéről szóló elméleti keretek, a magyar tudománytörténeti kontextus és a női tudományos munka társadalmi helyzetének összefüggéseiben értelmezze egy integrált tudománytörténeti és tudományfilozófiai perspektívából. A kutatás egyfelől a hazai tudománytörténetírás, másfelől pedig a nemzetközi tudományfilozófiai diskurzusok szempontjából is releváns a reprezentáció, normativitás, objektivitás és marginalitás összefüggéseinek elemzésein keresztül. Csapody Vera évtizedeken átívelő, rendkívül gazdag botanikai illusztrációs életműve - amely több ezer tábla és akvarell elkészítését és számos ismeretterjesztő és tudományos mű illusztrálását foglalja magában - ideális mikrotörténeti esettanulmányként szolgál ahhoz, hogy e tágabb elméleti és történeti kérdéseket egy konkrét regionális és időbeli kontextuson belül vizsgáljam. A kutatás célja nem pusztán az, hogy feltárja Csapody képi munkásságának stilisztikai és technikai sajátosságait, hanem az is, hogy megvizsgálja, miként konstruálódik és változik az illusztrációkban megjelenő tudományos objektivitás, milyen episztemikus szerepet töltenek be ezek az ábrázolások a növényrendszertanban és a florisztikában, illetve hogyan reflektálnak és járulnak hozzá a női tudományos munkát övező társadalmi diskurzusokhoz a 20. századi Magyarországon és így a kutatás a sajátosan magyar értelmezési keretek megértését is szolgálja.

KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR
AUTONÓM JÁRMŰVEK ÉS FIZIKAI RENDSZEREK IRÁNYÍTÁSA

Lelkó Attila

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Autonóm járművek kooperatív irányítása hierarchikus struktúrában biztonsági garanciákkal

Ez a kutatás a felügyelő szabályzó alapú szabályzási struktúrával foglalkozik, amely egy robusztus Hinf szabályozó és egy Proximal Policy Optimization (PPO) alapú ágenszt képes kombinálni. A cél a robusztus szabályozó performanciájának javítása, amelyet a megerősítéses tanulás alapú ágens segítségével érhető el. A kutatás újdonsága abban rejlik, hogy az integráció egy közös optimalizációs eljárás keretében valósul meg, amely során a robusztus szabályozó, a PPO-alapú ágens, valamint a felügyelő paraméterei egyidejűleg határozhatók meg. A robusztusság és stabilitást garanciáját a Hinf -alapú szabályzótervezés adja. A módszert autonóm mobil járművek kooperatív irányítási problémáján keresztül mutattam be. A konkrét feladat egy logisztikai rendszerben (raktár) működő, különböző csomagok pakolását végző járművek kooperatív irányítása. A szimulációs eredmények azt mutatják, hogy a létrejövő zárt szabályzási kör koordinált mozgást és magas performanciát eredményez, miközben kezeli a bizonytalanságokat és biztosítja a járművek stabil működését.

Lindenmaier László

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Az objektum megjelenés modellezése a járműipari szenzorfúzióban

Az elmúlt években a fejlett vezetéstámogató rendszerek számottevő mértékben hozzájárultak a közlekedésbiztonság javításához. Ennek eredményeként az Európai Unió közlekedésbiztonsági szabályozása egyre több ilyen rendszer alkalmazását teszi kötelezővé az új járművekben. Mindazonáltal a magasabb szintű automatizálást megvalósító önvezető funkciók társadalmi elfogadottsága továbbra sem tekinthető általánosnak: a felhasználók egy része gyakran kikapcsolja ezeket a rendszereket saját járművében. A statisztikai elemzések rámutattak, hogy ennek egyik fő oka a fals érzékelésekből származó téves riasztások gyakori előfordulása. A környezetérzékelés, különösen a szenzoradat-fúzió, kulcsszerepet játszik ezen esetek kiszűrésében és ezáltal a fejlett vezetéstámogató rendszerek megbízhatóságának növelésében.

A járműipari okos szenzorok magas absztrakciós szintű információt, azaz nyomon követett objektumokat (trackeket) szolgáltatnak. Ezek egyesítése jellemzően track-to-track architektúrájú objektumfúziós algoritmusok alkalmazásával történik. Ezekben a rendszerekben a track-menedzsment kiemelt fontossággal bír, mivel a trackek megerősítése és törlése révén jelentősen befolyásolja a fals érzékelések kiszűrésének hatékonyságát. A korszerű megközelítések ezt a problémát a trackek létezési valószínűségének becslésével és fuzionálásával kezelik.

A kutatásom során, egy korábbi kutatásomban kidolgozott hibrid, kétlépcsős létezési valószínűség-fúziós keretrendszeret egészítettem ki egy fejlett szenzormodellel, amely egy valószínűségi objektum-követési és megjelenési modellt foglal magában. Az objektumkövetési modell a trackek érzékelhetőségének és stabil nyomon követhetőségének valószínűségét a szenzor látómezőjének határától mért előjeles távolságfüggvény alapján határozza meg és a meglévő megközelítésekkel szemben explicit módon figyelembe veszi a célobjektumok sebességét is. Az objektum-megjelenési modell ezzel párhuzamosan az új trackek keletkezési valószínűségét írja le, modellezve azt a térbeli kontextust, amelyben új objektumok beléphetnek a szenzorok látómezejébe. A kidolgozott valószínűségi szenzormodelleket integráltam a trackekhez tartozó valószínűségi hozzárendelési keretrendszerbe. Az így kialakított módszer gyorsabb track-megerősítést és hatékonyabb fals track-szűrést tesz lehetővé, ezáltal javítva a teljes rendszer megbízhatóságát.

Az eredményeket egy radarból és egy kamerából álló előre-néző vezetéstámogató rendszer valós adatain értékeltem. A kiértékelési eredmények igazolják, hogy a kidolgozott szenzormodell integrálása több mint 4%-kal javítja a szenzorfúzió teljesítményt, még egy hagyományos, egylépcsős Dempster-Shafer elméletet alkalmazó fúziós keretrendszerben is.

Ormándi Tamás

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

V2X hardver GPS moduljának megtevesztése és ennek kezelése

A jármű kommunikáción alapuló információk megbízhatósága kiemelkedő fontosságú a jövőbeli intelligens közlekedési rendszerek biztonsága szempontjából. A különböző adaptív forgalomirányítási megoldások és algoritmusok, mint például a zöldhullámra optimalizált sebességajánlás vagy a V2X alapú adaptív jelzőlámpa programok érzékenyek a járművek pozícionálási hibáira. A járművek GPS jelének hamisításával hamis információk kerülnek az intelligens közlekedési rendszerekbe is, ami szuboptimális működéshez vagy akár balesetekhez is vezethet. Ennek kezelésére egy fizikai alapokon nyugvó Gauss-folyamat regressziós (GPR) modell került kifejlesztésre, amely ötvözi a fogadott rádiós jelerősség (RSSI) értékeket és az út topológiáját, ezáltal létrehozva egy vezetéknélküli környezet valószínűségi alapmodelljét. A jármű által közölt koordinátákat a statisztikailag előre jelzett jelviselkedéssel összevetve, a keretrendszer fizikai inkonzisztenciák (reziduálok) és episztémikus bizonytalanság alapján azonosítja az anomáliákat. A módszer képes 2.1 méteres eltérés esetén 95%-os arányban kiszűrni a hamis információkat.

Wágner Tamás

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Újszerű jelzőlámpa-irányító rendszer fejlesztése autonóm járművek rugalmas teszteléséhez

A kutatás a megerősítéses tanuláson (RL) alapuló forgalomirányító algoritmusok ipari programozható logikai vezérlőkre (PLC) történő integrálását vizsgálja, célul tűzve ki az elméleti modellek és a valós hardveres korlátok közötti szakadék áthidalását. A fejlesztés központi eleme egy hibrid architektúra, amelyben egy determinisztikus biztonsági réteg felügyeli az mesterséges intelligencia ágens döntéseit, garantálva a biztonságkritikus környezetben elvárt üzembiztonságot. A legfrissebb eredmények egy moduláris RL-ágens könyvtár létrehozására és a transzfer tanulás (transfer learning) alkalmazására fókuszálnak, lehetővé téve az intelligens vezérlés rugalmas implementálását PLC-s környezetben. A kutatás során kiemelt figyelmet kap a jutalmazási függvények (reward shaping policy) optimalizálása is a rendszer teljesítményének finomhangolása érdekében. Az ipari hardveren futó adaptív megoldás nemcsak technológiai innovációt jelent az ipar számára, hanem a károsanyag-kibocsátás mérséklésével a fenntarthatósági célok megvalósítását is támogatja.

Widner Attila

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Járműdinamikai mérésekhez és szimulációkhoz kapcsolódó validációs keretrendszer kifejlesztése

A járműdinamikai modelleket széles körben alkalmazzák az autóipar különböző területein. Használhatóságuk attól függ, mennyire képesek valósághűen visszaadni a tényleges jármű viselkedését. Minden szimulációs modellnek egy alapos vizsgálati folyamaton kell átesnie, amelyet modellvalidációnak nevezünk. Noha a járműdinamikai szimulációs modellek és a modellvalidáció módszertana jól megalapozott kutatási területek, a szerzők legjobb tudomása szerint még mindig hiányzik egy általánosan elfogadott modellvalidációs keretrendszer ezen a területen.

A kutatás célja egy átfogó módszertani keretrendszer kidolgozása a járműdinamikai modellek validációjához, amely kvantitatív értékelési módszereket tartalmaz a szimuláció pontosságának meghatározására (validációs metrikák), valamint automatizált paraméterbecslési és validációs folyamatokat gépi tanulási módszerek alkalmazásával. A javasolt módszertan egyik kulcseleme a valós méréseken alapuló pontos járműparaméterbecslés, amely számos alkalmazási lehetőséget kínál. Egy esettanulmány keretében bemutatásra kerül néhány járműdinamikai teszteken alapuló paraméterbecslés.

A kutatás másik fókusz területe a járműdinamikai teszteléshez kapcsolódik. A modell validációhoz szükség van egy olyan teszt összeállításra, amely a validációs tartományt jól lefedi. Ennek kidolgozására genetikus algoritmus alapú módszer került kidolgozásra.

INTELLIGENS MOBILITÁS ÉS KÖZLEKEDÉSI RENDSZEREK

Göntér Ábel

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék

A városi és elővárosi járművek energiafelhasználásának modellezése

Az elektromos és plug-in hibrid járművek elterjedése kulcsszerepet játszik a közlekedési szektor dekarbonizációjában, ugyanakkor terjedésüket nem csupán technológiai és gazdasági tényezők, hanem térbeli, infrastrukturális és felhasználói korlátok is befolyásolják. A kutatás célja az elektromobilitás városi és elővárosi alkalmazhatóságának átfogó vizsgálata, az energiafogyasztás, a töltési lehetőségek és a felhasználói viselkedés együttes figyelembevételével, különös tekintettel Budapest és agglomerációja térségére. A kidolgozott módszertan más városi környezetekre és járműkategóriákra is adaptálható, ezáltal szélesebb körű szakpolitikai és tervezési hasznosíthatósággal bír.

A kutatás integrált megközelítést alkalmaz, amely ötvözi a valós közúti fogyasztási adatok elemzését, a virtuális járműmodellezést és az épületállomány szerkezeti jellemzőinek vizsgálatát. Az otthoni töltés térbeli megvalósíthatóságának becslésére egy valószínűségi alapú modell került kidolgozásra, amely figyelembe veszi a lakóépületek heterogenitását és a beépítési sűrűség hatásait. A modell megbízhatóságát többparaméteres érzékenységvizsgálatok támasztják alá. A járműszintű vizsgálatok során alacsony számítási igényű, ugyanakkor kellő pontosságú virtuális modellek és univerzális, költséghatékony mérőrendszerek kerültek fejlesztésre és validálásra elektromos járművek - köztük motorkerékpárok - energiafogyasztásának becslésére.

Az eredmények alapján az otthoni töltéshez alkalmas épületállomány aránya a beépítési sűrűség növekedésével csökken, ami egyértelmű felső korlátot szab az elektromos járművek reálisan elérhető penetrációjának. Ugyanakkor az elektromobilitás szélesebb körű elterjedése jelentős környezeti előnyökkel jár: a becslések szerint a jelenlegi személygépjármű-állományhoz viszonyítva éves szinten mintegy 900 kt CO₂-kibocsátás megtakarítása érhető el, mérsékelt országos villamosenergia-igény mellett. A kutatás továbbá rámutat arra, hogy az energiafogyasztást a műszaki paramétereken túl a vezetői viselkedés és a kognitív alkalmazkodás is jelentősen befolyásolja.

A bemutatott eredmények és módszerek megalapozzák az elektromobilitási átmenet térben differenciált, adatalapú értékelését és hatékony döntéstámogatást nyújtanak a fenntartható közlekedési rendszerek stratégiai tervezéséhez.

Hegyi Patrik Zsolt

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék

Légi közlekedési ellenállóképességet javító és az üzemirányítást támogató eljárások és információs szolgáltatások fejlesztése

A légi közlekedés iránti folyamatosan növekvő kereslet jelentős kapacitásproblémákat idéz elő, amely fokozza a rendszer zavarérzékenységét és növeli a késések előfordulásának gyakoriságát. Az időjárási tényezők, a légiforgalmi irányítás korlátai, valamint a technikai meghibásodások teljes mértékben nem küszöbölhetők ki, így a menetrendi eltérések a rendszer működésének elkerülhetetlen kísérőjelenségei. A késések a szorosan kapcsolt repülőgép-rotációkon keresztül gyorsan továbbterjednek, jelentős hatást gyakorolva a légi közlekedés teljesítményére. Mindezek következtében a járat- és menetrendtervezés kulcsfontosságú stratégiai és operatív feladattá válik.

Kutatásom során a menetrendi eltérések adatvezérelt statisztikai vizsgálatát, valamint az erre épülő optimalizálási megközelítések fejlesztését végeztem el. Több ezer európai járat adatain alapuló elemzésem feltárja a menetrendi eltérések szezonális, heti és napszakos mintázatait és rámutat arra, hogy a repülőtéri forgalom volumene önmagában nem magyarázza a késések mértékét. Az eredmények megerősítik, hogy a menetrendi megbízhatóság komplex, többtényezős jelenség, amely integrált, kvantitatív modellezést igényel.

A statisztikai eredményekre építve fordulóidő-alapú repülési sorrend-optimalizálási keretrendszert dolgoztam ki, amely explicit módon integrálja az operatív bizonytalanságot a járatkiosztási döntésekbe. A modell egy empirikusan meghatározott megvalósíthatósági hasznosságfüggvényt alkalmaz, amely a késésekkel módosított fordulóidő és a ténylegesen szükséges kiszolgálási idő összevetésén alapul. A keretrendszer bináris lineáris programozási megfogalmazásban optimalizálja a repülőgép-rotációkat, minimalizálva a késések továbbgyűrűzésének hatását és növelve a menetrend ellenállóképességét. Az esettanulmány eredményei igazolják, hogy a kidolgozott modell képes mérsékelni a kumulatív késésterjedés kockázatát és hozzájárul a légi közlekedési menetrendek hatékonyabb, robusztusabb kialakításához.

Korompay Márton

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék

Megosztott városi mobilitási szolgáltatások felhasználó-központú tervezési és üzemeltetési módszereinek fejlesztése

Városi funkciók tükröződése a kerékpármegosztó állomások forgalmi aszimmetriájában -
Budapesti esettanulmány

A megosztott kerékpárszolgáltatások a fenntartható városi mobilitás fontos elemei, azonban működésük értékelése jellemzően aggregált keresleti mutatókra és újraosztási problémákra korlátozódik. Jelen kutatásban célom annak vizsgálata volt, hogy a kerékpármegosztó állomások időbeli forgalmi aszimmetriái milyen mértékben tükrözik a városi térhasználat és funkciók sajátosságait. A kutatás során egy leíró, adatvezérelt keretrendszert alkalmaztam, amely a budapesti MOL Bubi állomásalapú kerékpármegosztó szolgáltatás egy teljes éves utazásszintű adataira épül.

Az állomások viselkedését abszolút és relatív aszimmetria indexek segítségével vizsgáltam, amelyek a felvételek és leadások közötti különbséget, illetve viszonyt határozzák meg. Az abszolút aszimmetria index alapján az SSE (Sum of Squared Error) módszerrel jellemző napon belüli időintervallumokat határoztam meg. Mivel a hétvégi és hétköznapi adatok jelentős eltérést mutattak, mind a bérletek nagyságában, mind pedig a napon belüli aszimmetriák követésében - hétköznapiokon markáns reggeli és érzékelhető délutáni csúcsidőszak jelentkezik - az elemzés során a hétköznapi forgalmakra fókuszáltam.

Az állomásokat a relatív aszimmetria index alapján K-közép klaszterképző algoritmus segítségével profilokba soroltam. Három jellegzetes állomásprofilot azonosítottam: (1) reggeli csúcsidőszakban nyelőként, délután forrásként működő állomások, (2) egész nap kiegyensúlyozott forgalmú állomások, valamint (3) reggel forrásként, délután nyelőként viselkedő állomások. A térbeli elemzés igazolja, hogy az azonos profilba tartozó állomások nem véletlenszerűen helyezkednek el, hanem szoros kapcsolatban állnak a környező városi funkciókkal. A lakóterületeken található állomások jellemzően reggel forrásként és délután nyelőként viselkednek, míg az egyetemi és munkahelyi környezetben elhelyezkedő állomások ennek fordítottját mutatják.

Az eredmények alátámasztják, hogy az állomásszintű forgalmi aszimmetria nem pusztán véletlenszerű egyensúlytalanság, hanem értelmezhető viselkedési és térbeli jel, amely alkalmas a városi funkciók leképezésére. A bemutatott módszer általánosan alkalmazható keretet kínál a megosztott mobilitási szolgáltatások használati adatainak és a városi térhasználat kapcsolatának vizsgálatára.

Kovács Ramón

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék

Közlekedési szolgáltatások fejlesztése a 15 perces városokban

A dolgozat célja a „Bringázz az iskolába” kezdeményezést támogató információs rendszer elvi megtervezése volt, amely növeli a kezdeményezés biztonságát és átláthatóságát, valamint csökkenti a szervezési terheket a szülők, kísérők és iskolák számára. A kutatás a 15 perces városok kontextusába illeszkedik, elősegítve a fenntartható közlekedési módokat, csökkentve a reggeli autós forgalmat és javítva a gyerekek közlekedésbiztonságát.

Dolgozatomban áttekintettem a releváns kutatásokat és gyakorlatokat, különös tekintettel a gyerekek biztonságára, a „Safe Routes to School” programokra és a közösségi iskolai mobilitás ösztönzésére. Megállapítottam, hogy a technikai és szervezési támogatás növelheti a gyaloglás és kerékpározás arányát, ugyanakkor a legtöbb eddigi megoldás nem biztosít átfogó információs szolgáltatást.

A jelenlegi Bicibusz szervezési módszereket HAZOP elemzéssel vizsgáltam, azonosítva a normál működéstől eltérő eseteket és azok veszélyességi szintjét. Felmértem a meglévő alkalmazások fő funkcióit és hiányosságait, ami alapján megállapítottam a jelenlegi rendszer gyengeségeit: offline kommunikáció, valós idejű adatkezelés hiánya, biztonsági felelősség nem egyértelmű megosztása, valamint statisztikai háttér hiánya.

Ezek alapján megterveztem az új információs rendszer fő összetevőit, meghatároztam az érintettjeit és motivációikat, valamint a Bicibusz fő folyamatlépéseit: regisztráció, bejelentkezés, találkozási pont kiválasztása, kísérők értesítése, szülői és gyermeki értesítés az indulásról, nyomon követés, jelenlét nyugtázása, megérkezés, értesítés a megérkezésről, visszajelzés és statisztikai adatok. Az egyes lépésekben technikai, emberi és kommunikációs tényezők játszanak szerepet.

A dolgozatban definiáltam az extrém eseteket is, amikor a rendszert külső tényezők zavarhatják és meghatároztam az ilyenkor követendő eljárásokat. Ezt követően az információs rendszer funkcióit mutattam be, beleértve a statisztikai elemzést, riportkészítést, adminisztrációs és rendszerfelügyeleti lehetőségeket, teljesítményértékelést és szülői visszajelzést.

Elkészítettem a Bicibusz üzleti modelljét Business Model Canvas segítségével, összekapcsolva az ügyfélközpontú elemeket (ügyfélszegmensek, értékajánlat, csatornák, ügyfélkapcsolat, bevételi források) és a belső működési elemeket (tevékenységek, erőforrások, partnerek, költségek).

A szabályozások terén definiáltam a szolgáltatás igénybevételének feltételeit, a résztvevők kötelezettségeit és felelősségeit, valamint a betartandó jogszabályokat. Javaslatot tettem a KRESZ módosítására a csoportos gyerekkerékpározás biztonságos és szervezett formájának támogatására.

Végül összegzem a megvalósuló információs rendszer várható hatásait, amely a program biztonságát, átláthatóságát és szervezhetőségét javítja, támogatva a fenntartható, aktív közlekedési módokat a gyerekek körében.

Nagy Roland

*Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Gépjárműtechnológia Tanszék*

Vezetéknélküli kommunikáción alapuló járműfunkciók irányítási koncepciójának kidolgozása

A kutatási pályázat célja a V2X alapú gépjárműrendszerek jövőbeni alkalmazásához szükséges irányítási koncepció kidolgozása. A kutatási eredmények elősegíthetik az vezetéknélküli kommunikáción alapuló kooperatív rendszerek elterjedését. A megbízható V2X alapú rendszerek elterjedésével a közúti közlekedést jellemző baleseti kockázat csökkenése várható. Fentiek tükrében a kutatás célja legalább két vezetéknélküli kommunikáción alapuló kooperatív járműfunkció irányítási koncepciójának kidolgozása, különös tekintettel a kommunikációs teljesítményparaméterek figyelembevételére. A kutatás során elvégzem egyes - a rendszer szempontjából releváns -, eltérő elveken alapuló irányítási modellek vizsgálatát és az eredmények összehasonlítását.

A doktori kutatásom első évében azt vizsgáltam, hogy a hálózati paraméterek figyelembevételével egy vezérlő algoritmusban milyen lehetőségek vannak a hálózatba kapcsolt járműfunkciók teljesítményének javítására. Ennek érdekében egy biztonsági mutatót (Safety Risk Index - SRI) építettem be a vezérlő algoritmusba, amely figyelembe veszi mind a jármű dinamikáját (sebességek), mind a hálózati paramétereket (PDR, LAT). A javasolt járműfunkció kiértékelésére megalkotásra került egy szimulációs környezet, amely során egy részletes rádiókommunikációs fizikai réteget valósítottunk meg a szimulált járművek közötti V2X kommunikáció végrehajtására. A javasolt szabályozási módszer értékelését követően megállapítást nyert, hogy alkalmas megközelítés lehet a járműfunkció teljesítményének és megbízhatóságának fokozására.

Uglik Zalán Tiborc

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszék

Hálózati topológiák és térbeli indikátorok integrált vizsgálata csomagautomaták hatékony telepítéséhez

Az e-kereskedelem az elmúlt években tapasztalt robbanásszerű növekedése alapvetően átalakította a városi logisztikai rendszereket. A környezeti terhelés csökkentése és az életminőség javítása érdekében egyre nagyobb figyelem irányul az alternatív kézbesítési megoldásokra, különösen a csomagautomaták alkalmazására. A kutatás során a budapesti csomagautomata-hálózatok térbeli eloszlását és kapacitáskihasználtságát vizsgáltam.

A gyakorlatban a csomagautomata szolgáltatók gyakran egymás közvetlen közelében telepítik automatáikat, figyelmen kívül hagyva a hálózatban létrejövő redundanciát és a városi tér hatékony hasznosításának szempontjait. A hálózatok zártsága miatt a kapacitások nem megosztottak ezeken a pontokon, emiatt a kihasználtságuk nem kiegyensúlyozott. A csomagautomata gócpontok számának növekedése, valamint a rendelkezésre álló városi tér folyamatos szűkülése együttesen sürgetővé teszi egy új tervezési megközelítés kidolgozását.

A kutatás egy Budapest teljes területét lefedő raszteres felosztáson alapul, amely lehetővé teszi az egyes városi területek egységes értékelését és összehasonlítását. A kialakított modell az Analytic Hierarchy Process (AHP) módszertanra épül, amely strukturált keretet biztosít a különböző térinformatikai szempontok súlyozott integrálásához. Az eredmények arra utalnak, hogy a jelenleg jellemzően zárt rendszerű csomagautomata hálózatok jelentős konszolidációs potenciállal rendelkeznek egy nyitott hálózati struktúra irányába történő átalakuláshoz. A megosztott csomagautomata kapacitások nemcsak a területfelhasználás optimalizálását és a beruházási költségek csökkentését tenné lehetővé, de a szolgáltatási színvonal javulásával a felhasználók elégedettségét is megnövelné. Ezáltal egy fenntartható, környezetbarát és felhasználó központú városi logisztikai rendszer kialakítását segítené elő.

JÁRMŰIPARI ÉS GYÁRTÁSI RENDSZEREK, BIZTONSÁG ÉS MÉRNÖKI MEGOLDÁSOK

Kiss-Nagy Krisztián

*Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Repüléstudományi és Hajózási Tanszék*

Folyami vízügyi robothajók autonóm funkcióinak fejlesztése CFD vizsgálatok és digitális iker alapú modellezés segítségével

A kutatásaim hasznosításának érdekében az EKÖP-KDP-24 pályázat keretein belül a BME és az Aqua-Terra Lab Kft. együttműködésével mélységi vízminőségmérésre és vízmintavételezésre alkalmas vízügyi robothajókkal kapcsolatos kutatásokat végeztem az elmúlt időszakban. Ezen robothajók hatalmas előnye, hogy alkalmazásukkal kiválthatóak a költséges, körülményes, esetenként veszélyes csónakos és hajós mérések. A fejlesztések és számos terepi teszt során fény derült, hogy a drón-technológiában jelenleg elérhető irányítórendszerek nem alkalmasak differenciál kormányzású folyami vízügyi robothajók biztonságos autonóm üzemeltetésére. A változó erősségű és irányú sodrás az általában szűk és sekély folyami vízterületeken bonyolult irányítási feladatot jelent különösen alulaktuált differenciál kormányzású robot hajók esetén. Ebből kifolyólag létrehoztam egy adaptív dinamikus pozicionáló algoritmust, mely CFD (Computational Fluid Dynamics) vizsgálatokkal létrehozott szintetikus sodrási sebesség vektor szenzor adatait használja fel a vízügyi mérésekhez elengedhetetlen stabil pozíció tartáshoz. A dinamikus pozicionáló algoritmus alapját egy olyan virtuális horgony képezi, melynek pozíciója a sodrási jellemzők függvényében eltolódhat. A sodrás valós idejű mérésére új szerű szintetikus áramlási sebesség vektor szenzort hoztam létre a légi drónok szélmérő képességéhez hasonlatosan. Mivel a robothajó hidrodinamikai és propulziós sajátosságai a víz sűrűsége és a szabad folyadékfelszín jelenléte miatt jóval bonyolultabb, mint egy átlagos légi drónnál, így áramlástan vizsgálatokat végeztem Instacioner Reynolds-átlagolt Navier-Stokes (URANS) numerikus megoldó alkalmazásával a pontos vízhez képesti (relatív) haladási sebesség modellezéséhez (STW – Speed Through Water). A hajótest hidrodinamikai jellemzői és a tolóhajtóművek digitális ikertestvéreinek felhasználásával a szintetikus szenzor az IMU, elektronikus iránytű, RTK GNSS szenzorok adataiból és a hajtóművek vezérlőjeleiből számítja a sodrás vektort a földhöz rögzített NED koordináta-rendszerben. A dinamikus pozicionáló algoritmus fejlesztéséhez és biztonságos teszteléséhez a kutatásaim során elkészült valósághű Gazebo alapú szimulációs eljárást alkalmaztam. Az algoritmusokat a nyílt forráskódú Ardupilot Rover kódbázisból kiinduló saját irányítórendszerbe implementáltam, így azok széles körben hasznosíthatók. A beágyazott algoritmusok működését valóságos vízügyi robothajó folyami tesztjeivel ellenőriztem és demonstráltam.

Kovács Bálint

*Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Gépjárműtechnológia Tanszék*

Modern funkcionális biztonságtechnikai megoldások alkalmazása a haszongépjárművek elektropneumatikus fékrendszereiben

Az ISO 26262 előírja, hogy a funkcionális és technikai biztonsági architektúrának a biztonsági koncepció szerves részét kell képeznie. Ugyanakkor nem ad egyértelmű iránymutatást arra vonatkozóan, hogy milyen módszerekkel kell azt kidolgozni. A Software Platform Embedded Systems (SPES) egy modellalapú rendszerfejlesztési keretrendszer, amelyet széles körben alkalmaznak az autópárhban. Meghatározza, hogy mit kell ábrázolni a modellalapú fejlesztés során, de nem írja elő, hogy a meghatározott nézőpontokat (Viewpoint) hogyan kell levezetni. Annak érdekében, hogy a fejlesztés korai szakaszában minél több szempontot vegyünk figyelembe az architektúra kialakításához és ebben a folyamatban csökkentsük az ad hoc szakértői ítéletektől való függőséget különböző módszereket használhatunk. Egy ilyen módszer a Design Space Exploration (DSE), ami kiegészítheti az SPES-t azáltal, hogy szisztematikusan ismételhető, elemzésvezérelt megközelítést biztosít.

A vizsgált DSE-megközelítések általában a szoftverfunkciókat a meglévő hardverarchitektúrához rendelik hozzá optimális módon, míg ez a tanulmány egy olyan DSE-megoldás alapjait mutatja be, amely képes a funkcionális biztonsági követelményeknek megfelelő, eltérő architektúratopológiákat generálni. A javasolt megközelítés az architektúra szintézist optimalizációs problémaként fogalmazza meg. Mi gráf-alapú megközelítést választottunk a rendszer modellezésére annak érdekében, hogy az architektúra komponensei közötti kapcsolatokat pontosan tudjuk modellezni. A javasolt módszert egy reprezentatív autópári tápellátási architektúra segítségével szemléltetjük, bemutatva, hogy a megbízhatósági korlátok használata, hogyan vezetnek redundancia bevezetéséhez, amikor azt a biztonsági korlátok megkövetelik.

A különböző optimalizálási stratégiák támogatása érdekében a keretrendszer alapja mind a nemlineáris, mind a linearizált korlátok ábrázolását támogatja, így heurisztikus és pontos megoldókhoz egyaránt alkalmas. Ez a kutatás a genetikus algoritmus (GA) és a vegyes egészértékű lineáris programozás (MILP) optimalizálási módszereinek összehasonlító elemzését mutatja be, amely rávilágít az alkalmazási rugalmasság, a skálázhatóság és a számítási futási idő közötti kompromisszumra. Ezen összehasonlítás alapján kiválasztjuk a megfelelő megoldót ehhez a megbízhatóságon alapuló architektúra-generáló alkalmazáshoz.

Molnár-Major Petra

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszék

Termelési logisztikai funkciók integrálási lehetőségei a termelési rendszerekhez kapcsolódó digitális ikertechnológiákba

A termelés komplex és hatalmas rendszert alkot, amelyben a termelési logisztikai folyamatok kulcsfontosságú szerepet játszanak a gyártástechnológiai folyamatok mellett. Bár az értékteremtő folyamatok digitalizálása egyre fontosabbá válik, a gyártást támogató logisztikai tevékenységek gyakran hiányoznak a digitális modellekből. Hiányuk csökkenti a digitális leképezés pontosságát, ami inadekvát döntésekhez és válaszreakciókhoz vezethet a folyamatok irányításában.

A kutatás során a termelési logisztika megjelenését vizsgáltuk a digitális ikerpártechnológiával foglalkozó nemzetközi szakirodalomban. Bebizonyosodott, hogy a kutatók eltérő definíciókat és értelmezéseket használnak a digitális ikerpároknál és a termelési logisztikai folyamatoknál. A termelési logisztikai folyamatok különböző módokon kerültek csoportosításra és nem lehetett egységes modellezési eljárást találni rájuk. Emellett az irodalmak túlnyomó többségének tárgya nem a digitális ikerkészítés, hanem a digitális iker, mint eszköz felhasználása egyéb logisztikai feladatokban (pl. erőforrás-allokáció). A feldolgozott irodalmak segítségével több termelési logisztikai digitalizációt érintő nehézség is feltárásra és rendszerezésre került, ehhez négy kategóriát definiáltunk: 1. technológiai integrációs nehézségek, 2. termelési logisztikai folyamatok tulajdonságaiból eredő nehézségek, 3. bizonytalanságok és zavarok kezelése, 4. módszertani problémák. A nehézségek ok-okozati vizsgálata is megvalósult, aminek eredménye egy problémafa lett.

A kutatás során a termelési logisztikai folyamatok digitális ikerben való megjelenítésének az előkészítési lépéseinek szabványos formában történő leírása is megvalósításra került. Ehhez az EPC (Event-driven Process Chain) folyamatábrázolási módszertan került felhasználásra és módosításra. A fejlesztett EPC módszertan használható a folyamatok átláthatóvá tételére; emellett fontos szerepet játszik a digitális átláthatóság számszerűsítésében is. A technika segítheti a digitális modellek létrehozását, ami a digitális ikerkészítés első lépése.

A kutatás eredményeként meghatározásra került egy kérdéscsoport, amely különböző dimenziók mentén segíti a döntéshozatalt a digitalizációt célzó projektek megfelelő fejlesztési irányainak megtalálásában. A termelési logisztikai folyamat digitalizálásának lehetséges ütemterve is elkészítésre került, kiegészítve a szükséges technológiákkal és szabványokkal. Végül a termelési logisztika anyagáramlási topológiájához illesztett digitális iker keretrendszer is bemutatásra került.

Nagy Emil

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Gépjárműtechnológia Tanszék

Járműipari tápellosztó rendszer kidolgozásának kutatása konvencionális, hibrid és elektromos járművek új generációs fogyasztóihoz, különös tekintettel a tápellosztó rendszerek biztonsági kérdéseire

Mai világunkban már megszokottá vált, hogy a mindennapokban különböző energiaforrást használó hibrid és akár tisztán elektromos meghajtású járművekkel találkozunk a közutakon. Az elektromos és hibrid hajtás térnyerése egy eddig nem különösen firtatott, de fontos biztonsági kérdésekre hívja fel a figyelmet a járművek tápellátási rendszerével kapcsolatban. A kutatásunk ezen járművek tápellátásának biztonsági kérdéseinek vizsgálatára épül. Kutatásaink célja olyan módszerek kidolgozása, amelyek segítik a járművek elektromos rendszerelemeinek megbízhatóságát, valamint az esetleges meghibásodások korai felismerését, különös tekintettel a biztonságkritikus funkciókhoz kapcsolódó komponensekre.

Kutatásaim során a fő célom egy fejlett tápellátási és elosztási rendszer alapelveit és lényeges működési alapjait kidolgozni. Az első 3 félév során a kutatás alapvetően két különböző irányba haladt. Elsőként az újgenerációs járművekre jellemző paraméterek alapján készítettünk egy előzetes jármű elektromos energiaelosztó architektúrát, mely során különös tekintettel voltunk a magasabb fokú önvezetési funkciókhoz elengedhetetlen redundáns energiaforrás rendszer szintű biztosítására. Az architektúra kidolgozása során fontos szempont volt, hogy megfeleljen az járműiparban újonnan támasztott biztonságkritikus követelményeknek is.

A kutatás másik iránya a rendszerfogyasztások szimulálására koncentrált. Kifejlesztettünk egy kiterjedt szimulációs környezetet, amely lehetőséget biztosít az elektromos rendszerelemek elektromos jellemzőinek becslésére. A vizsgálatok során kiemelt hangsúly került a regressziós modellek és a szimulációs módszerek eredményeinek összehasonlítására, amely hozzájárul az elektromos járművek energiaellátásának optimalizálásához.

Meglátásunk szerint a szimuláció segítségével képesek vagyunk a jármű energiafogyasztása szempontjából leglényegesebb rendszereket szimulálni. A kutatásunk egyik legnagyobb eredményének tekinthető a kiértékelés során felfedezett tény, hogy az általunk készített szimulációs technika minden esetben a legpontosabb és legkonzisztensebb eredményt adta összehasonlítva más publikációkban korábban már említett megoldásokkal összevetve.

Előre láthatóan a kutatásom további irányát az energiaelosztó architektúra és a szimuláció fejlesztése mellett előrejelzési modell kidolgozása fogja meghatározni. Terveink szerint a fejlesztett szimulációval képesek leszünk előre definiált útvonalak alapján tipikus működési üzemekeket, külső körülményeket és fogyasztási adatokat összepárosítani a jármű különböző alrendszereire. Ezen adatok segítségével pedig elkezdhetjük a már említett előrejelzési modellt fejleszteni. Hosszútávú terveink között szerepel ezen modell validálása valós adatok alapján.

Stánicz János

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék

A korszerű járműkarbantartási rendszerek elvárásaihoz kapcsolódó személyi feltételek és tudásátadás megteremtése a generációs sajátosságok figyelembevételével

Az elmúlt évtizedek fokozatos mobilitási, szállítási igény növekedésében továbbra sincs visszaesés, a fejlődés megállíthatatlan. Az Európai Unió által megfogalmazott klímapolitikai célok, valamint a növekedés fenntartása komoly kihívást jelent a közlekedési ágazat minden szereplője számára legyen az közút, vasút vagy a légiközlekedés. A célok elérése nem valósulhat meg a vasúti közlekedés részarányának növekedése nélkül, amihez viszont jelentős fejlesztésekre van szükség a megfelelő átbocsátó képesség biztosítása érdekében, illetve a megnövekedett igényekhez illeszkedő eszköz- és személyzet állománynak is rendelkezésre kell állnia.

A kutatásom fókuszában a közlekedési szektor és azon belül a vasúti gördülőállomány karbantartási rendszerének vizsgálatát állítottam, ami jelentős változáson megy keresztül. Egyrészt a technika fejlődése, digitalizáció okán, aminek eredményeként új megoldások kerülnek bevezetésre, amivel együtt az ember szerepe is jelentősen átalakul a rendszer elemeként. Másrészt a változások megvalósításának módja szerint is többféle gyakorlat körvonalazódik az európai vasút társasági palettát tekintve, ami számottevő eltéréseket eredményezhet. A mindennapi gyakorlatban nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt sem, hogy a korszerű járművek mellett a meglévő koros eszközállomány üzemképes állapotának fenntartása is feladata a karbantartó személyzetnek. Így az új tudás megszerzése és a meglévő, felhalmozott tudás, tapasztalat átadása egyaránt megjelenik a járműkarbantartást végző Társaságok feladatai között. A karbantartási rendszerek vizsgálata során részletesen elemzem a vasúti szektorban végbemenő fejlesztések és digitalizáció hatását abból a szempontból is, hogy milyen befolyással bír a karbantartó személyzet biztosítási folyamatára - előképzettségi igény, kompetencia szint változás, létszám igényének és összetételének változása. A kutatásomban kitérek a tudásátadási folyamat vizsgálatok a munkaerőpiacon jelenlévő generációk jellemzőinek beazonosítására, hiszen a megfelelő stratégia kialakításához ez elengedhetetlen. Eltérőek azok a motivációs eszközök, amelyek a toborzás és a megtartás szempontjából kiemelten fontos az egyes generációknál.

Azt is meg kell vizsgálni, hogy melyek az egyes generációk erősségei, mi jelent kihívást számukra és melyek, azok a jellemzők, ahol szinergiát mutatnak. Munkám során célom a generációk sajátosságaihoz igazodó tudásátadási folyamat optimalizálásán túl az elsajátítás mértékének értékelésére szolgáló mutatószám (rendszer) kialakítása, amely a megszerzett tudás - elméleti és gyakorlati - mérésén túl, lehetőséget biztosít a szükséges kiegészítő képzések, esetleg utóképzések meghatározására. A járműkarbantartási területen kiemelten fontos, hogy a munkát végző szakszemélyzet rendelkezzen a szükséges ismeretanyaggal, ugyanakkor a megszerzett tudás szinten tartása, fejlesztése sem maradhat el, amely nyomon követésében kiemelt szerepet tölthet be a mutatószámrendszer.

Tóth Szilárd Hunor

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Gépjárműtechnológia Tanszék

Automatizált járműmozgás-tervezés és vezérlés a kezelési határokon megerősítéses tanulással

Míg az autonóm járművekkel kapcsolatos kutatások többsége névleges működési tartományokra összpontosít, a kritikus biztonsági helyzetek gyakran extrém, alacsony tapadású vagy erősen dinamikus környezetben alakulnak ki, ahol a járműdinamika erősen nemlineáris és a hagyományos, modellalapú szabályozási módszerek korlátozottan alkalmazhatók. E kihívások kezelése olyan szabályozási stratégiákat igényel, amelyek bizonytalanság mellett is képesek döntéseket hozni és a jármű teljes dinamikai tartományát kihasználni. A jelen kutatás elsődleges célja annak feltárása, hogy a korszerű megerősítéses tanulás (reinforcement learning, RL) módszerek képesek-e robusztus, pontos önvezető ágensek tanítására tapadási határon végrehajtott manőverek esetén. A kutatás eddigi fő eredménye az irodalomban elsőként megvalósított, valós járművön végrehajtott, állandósult állapotú driftelés megerősítéses tanulás alkalmazásával, korszerű sim-to-real technikák segítségével. A robusztusság növelése érdekében a kutatás tovább folytatódott adversariális tanítási stratégiák alkalmazásával, amelyek a tanulási folyamat során strukturált zavarásokat, paraméterbizonytalanságot és változó tapadási viszonyokat vezettek be. Ennek eredményeként olyan önvezető ágensek jöttek létre, amelyek képesek alkalmazkodni a legelőnytelenebb, változó útviszonyokhoz és fenntartani a stabilitást erősen nemlineáris működési tartományban, mint pl. körpályájú, nem expliciten definiált drift munkapont esetében is. Az extrém manőverezési képesség demonstrálásán túl a kutatás szélesebb jelentősége abban rejlik, hogy a tapadási határon tanult viselkedések alapul szolgálhatnak biztonságkritikus ADAS-funkciók fejlesztéséhez. Az RL-alapú ágens által alkalmazott dinamikai kihasználási stratégiák elemzése lehetőséget teremt biztonsági határok, beavatkozási mechanizmusok és helyreállítási stratégiák meghatározására, amelyek hozzájárulhatnak az ütközésselkerülés, az irányíthatóság-vesztés megelőzése és a vészhelyzeti járműkezelés hatékonyságának növeléséhez.

MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ÉS MULTIMODÁLIS MODELLEK A KÖZLEKEDÉSBEN

Balogh Csanád Levente

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Megerősítéses tanulással támogatott gépi tanulási módszerek fejlesztése a járműiparban

A gépi tanulási módszerek elterjedése az utóbbi években látványos fejlődést eredményezett számos tudományos és ipari területen, melynek egyik kiemelkedő példája a gépi látás területe. Ezen a területen a detekciós, klasszifikációs és szegmentációs feladatok megoldására mára jellemzően mesterséges intelligencia-alapú technológiák alkalmazása vált standard gyakorlattá. Az Asura Technologies vállalat profilja is ehhez kapcsolódik, mivel fő tevékenységi körét a mesterséges intelligencia alapú videóanalitikai megoldások képezik. Kooperatív doktori kutatásom ennek megfelelően elsősorban a gépi látásra fókuszál, azon belül is kiemelten a különböző gépi tanulási módszerek közötti határterületek feltérképezésére és fejlesztésére összpontosítok.

Kutatásom központi eleme annak vizsgálata, hogy a megerősítéses tanulás hogyan képes más gépi tanulási technikák teljesítményének javításához hozzájárulni, különös tekintettel az adatok hatékonyabb kihasználására. Napjainkban az egyre nagyobb és komplexebb mesterséges neurális hálózatok jelentős adat- és számítási igényt támasztanak, így az adatok minél hatékonyabb felhasználása kiemelt fontosságúvá vált. Ezért a kutatásom során a mintavételezési stratégiák optimalizálására koncentrálok, melyek segítségével ugyanazon adathalmazból több releváns információt lehet kinyerni, jelentősen javítva ezzel a neurális hálózatok tanulási hatékonyságát.

Doktori kutatásom keretében sikerült kidolgoznom egy hatékony mintavételezési módszert az objektumdetekció területére, amely igazoltan javítja a végső detekciós teljesítményt többféle neurális hálózat architektúrával és különböző adatkészleteken egyaránt. Továbbá foglalkozom az adathalmazok annotációs hibáinak felismerésével és kiszűrésével is. Ehhez kidolgoztam egy annotációs hiba-detekciós metodológiát, amely hatékonyan képes azonosítani és eltávolítani a hibás címkézésű adatokat, ezzel tovább fokozva a modellek tanulási folyamatának megbízhatóságát és teljesítményét.

Czibere Balázs

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Multimodális eszközök vizsgálata járműipari objektum követés esetére

Az objektumok időbeli követése és asszociációja kulcsfontosságú az autonóm rendszerek megbízható környezetérzékelésében, különösen eltérő nézőpontok vagy hiányos észlelések esetén. Bár a hagyományos, szenzorspecifikus és idősoros megközelítések számos esetben hatékonyan működnek, bizonyos helyzetekben - például részleges takarás, megváltozott megjelenés vagy megszakadó észlelés esetén - továbbra is van tér a robusztusság és általánosíthatóság javítására. A legújabb multimodális neurális hálózatok képesek eltérő típusú adatokat - például képi vagy szöveges információkat - egy közös reprezentációs térbe leképezni, ahol azok tartalmi szinten összevethetők és egymással kapcsolatba hozhatók. Ez a közös reprezentációs tér lehetővé teszi a különböző modalitású és időbeli forrásból származó észlelések embedding vektorokkal történő összehasonlítását. A kutatás célja ezen embedding vektorok alkalmazása objektum-asszociáció javítására, ezáltal az objektumkövetés finomítására, annak megbízhatóságának növelésére, különösen bizonytalan vagy hiányos követési szakaszokon. Az ilyen típusú kiegészítő információ új lehetőséget nyújt a robusztusabb és általánosíthatóbb követési stratégiák kialakítására. Kutatásom célja egy olyan objektum-asszociációs és -követési módszer kidolgozása és implementálása, amely képes a korszerű multimodális neurális hálózatok által előállított közös reprezentációs térre épülve finomítani a hagyományos detekció-alapú követési eljárásokat. A módszer különböző időpillanatokban, eltérő nézőpontból vagy részlegesen hiányos észlelések alapján is képes hasonlóságot megállapítani objektumok között a tanult embedding vektorok összevetésével. A cél nem az időbeli követés teljes kiváltása, hanem annak kiegészítése olyan információval, amely robusztusabbá és általánosabbá teszi a meglévő eljárásokat. A módszer alapját olyan multimodális modellek képességei adják, amelyek képesek képi és szöveges tartalmakat ugyanabba a reprezentációs térbe leképezni. E közös térben az azonos jelentésű, de eltérő modalitású bemenetek (például egy adott objektum képe és a hozzá tartozó nyelvi leírás) egymáshoz közeli embedding vektorral rendelkeznek. Ez lehetőséget teremt arra, hogy egy szövegesen megadott célobjektum lekérdezőként szolgáljon a képi észlelésekhez és segítsen azonosítani vagy megerősíteni a követésben szereplő entitásokat. A kutatás során egy olyan objektum-asszociációs eljárást hoztam létre, amely kihasználta a korszerű multimodális neurális hálózatok által biztosított közös reprezentációs tér előnyeit. A módszer lehetővé tette, hogy a különböző időpillanatokban észlelt objektumok azonosítása ne csupán geometriai vagy vizuális hasonlóság alapján történjen, hanem a mögöttes tartalmi hasonlóságok figyelembevételével is.

Csippán György

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Multi-ágens rendszerek kommunikációs lehetőségeinek vizsgálata nagy nyelvi modellek segítségével közlekedési alkalmazásokban

A modern városi közlekedési rendszerek egyre összetettebbek, miközben a hagyományos, protokollalapú kommunikáció korlátozott rugalmasságot biztosít az autonóm ágensek számára. A kutatás célja egy olyan intelligens irányítási keretrendszer kidolgozása, amely nagy nyelvi modellek (LLM-ek) segítségével teszi lehetővé a dinamikus, kontextusérzékeny döntéshozatalt közlekedési környezetben. A megközelítés központi eleme egy MCP-alapú kommunikációs réteg, amely strukturált kapcsolatot biztosít az LLM-alapú ügynökök és a szimulált forgalmi rendszer (SUMO) között. Az ügynökök valós idejű adatok gyűjtését követően természetes nyelvi feldolgozással támogatott, végrehajtható döntéseket hoznak. A rendszer teljesítményét különböző hálózati konfigurációk mellett, kvantitatív és kvalitatív mutatók alapján értékelem. A kutatás hozzájárul egy skálázható, nyelvvezérelt kommunikációs paradigma megalapozásához, különös tekintettel a multiágens rendszerekben való alkalmazhatóságra. A vizsgálat külön figyelmet fordít arra, hogy a nyelvvezérelt kommunikáció miként járul hozzá az ügynökök közötti együttműködés hatékonyságának növeléséhez és a komplex forgalmi helyzetek kezeléséhez.

Gujcizer Dániel Tamás

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Nagy nyelvi modellek alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata az autonóm járművek döntéshozatalában

Az autonóm járműirányítás tudományterületét fokozatosan növekvő figyelem övezte az elmúlt évtizedekben, köszönhetően a kiemelkedő eredményeknek a társadalmi igények kielégítésében, akár a biztonság, a hatékonyság, vagy a környezettudatosság tekintetében. Az ilyen autonóm járműrendszerekben központi szerepet játszik a döntéshozatal, mivel ez teremti meg a kapcsolatot a környezetérzékelés és az irányítás között. Ehhez kapcsolódóan az egyik legfontosabb feladat a járművek pályakövetése, melynek megvalósítására a modern irányítási megközelítések közül kiemelkedő hatékonysággal alkalmazható a Modell Prediktív Irányítás. A módszer előnyei közé tartozik, hogy képes figyelembe venni a járműdinamikát és a rendszer korlátozásait, azonban hátrányaiként kiemelendő, hogy precíz rendszermodellezést igényel, melynek előállítása kihívást jelent komplex és bizonytalan közlekedési környezetekben, valamint nagy számítási kapacitásigénnyel rendelkezik az időlépésenként megoldott optimalizációs feladat miatt. Ezen hátráltató tényezők kiküszöbölhetőek adatalapú módszerek, például neurális hálózatok integrálásával, melyek azonban kevésbé alkalmasak a hosszútávú összefüggések modellezésére. Erre megoldást jelenthet a Transformer architektúra alkalmazása, mely az utóbbi években nagy népszerűségnek örvendő Nagy Nyelvi Modellek alapját is képi. Az architektúra az ún. „self-attention” mechanizmus révén kiválóan alkalmasak a szekvenciális adatok és a hosszútávú összefüggések modellezésére, így ígéretes lehetőséget kínál az oldalirányú járműirányítás megvalósítására.

Kutatásomban a Modell Prediktív Irányítás és a Nagy Nyelvi Modelleken alapuló struktúrák kombinációs lehetőségeit vizsgáltam, melynek céljából egy Transformer modellt integráltam az irányítási keretrendszerbe predikciós modellként, hogy az alkalmazhatóságot és a teljesítmény javításának lehetőségeit vizsgáljam. Ezen folyamat első lépéseként egy Transformer modellt hoztam létre az oldalirányú járműdinamika identifikációjára. Ezt követően egy prediktív irányítási keretrendszerben a hagyományos, fizikai alapú predikciós modellt váltottam ki vele, végül a kialakított struktúra teljesítményét egy hagyományos irányítási módszerrel vetettem össze.

Knáb István Gellért

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Nyelvi modellek alkalmazása a forgalomirányításban

A korszerű forgalmi hálózatok hatékonyságát napjainkban már nem csak a fizikai infrastruktúra kiterjedése határozza meg, hanem számos intelligens algoritmus képes segíteni azt. A modern rendszerek kettős előnyt kínálnak: az utazási és várakozási idők mérséklésével növelik a közlekedési hatékonyságot, míg az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésével élhetőbb városi környezetet teremtenek. A technika és a hardverek fejlődésének köszönhetően a mesterséges intelligencia alapú eljárások különösen ígéretesnek bizonyulnak, mivel adatalapú döntéshozatalt tesznek lehetővé komplex fizikai modellek explicit megfogalmazása nélkül, közvetlen kapcsolatot teremtve a szenzoradatok és a beavatkozások között. A legtöbb korszerű mélytanulási megoldás ugyanakkor feladatspecifikus tanítást igényel, ami rendkívül erőforrás- és energiaigényes folyamat. Bár léteznek törekvések a költségek optimalizálására (például tanítóminta-priorizálással), a számítási igény továbbra is jelentős marad, ezzel az implementálási hajlandóságot csökkentve. A nagy nyelvi modellek megjelenésével azonban lehetőség nyílik olyan realizációkra, ahol az alkalmazott mély neurális hálózatok az előtanítás során megszerzett képességeikre támaszkodva, célzott finomhangolás nélkül is képesek releváns döntéseket hozni. Jelen kutatás célja egy olyan keretrendszer bemutatása, amely az adott feladatra tanított ágens helyett nagy nyelvi modelleket alkalmaz a forgalomirányításban mint controller, kiváltva ezzel a költséges tanítási fázist csupán az előtanítás során megszerzett képességek felhasználásával. A hagyományos jutalomfüggvények helyett a hangsúly a megfelelő rendszerpromptok kialakítására helyeződik; a rendszer működéséért a promptba ágyazott szenzorinformációk és a szöveges leírások közötti szemantikai összefüggések felelnek. A kidolgozott megoldás autópályás környezetben, változtatható értékű sebességkorlátozáson (Variable Speed Limit Control - VSLC) keresztül valósul meg, a modell strukturált kimeneteit alkalmazva. A munka során vizsgálatra kerül a különböző nyelvi modellek egymáshoz viszonyított teljesítménye, mind kisebb paraméterszámú, kis teljesítményű gépen futtatható modell, mind pedig felhőből elérhető modellek esetén. Ezt követően hatékonyságuk a hagyományos forgalomirányítási algoritmusokkal szemben is mérésre kerül, hogy elhelyezhető legyen a korszerű rendszerek térképén. Az értékelés kiterjed a forgalomstabilitási metrikákra (várakozási idő, átlagsebesség), valamint a fenntarthatósági mutatókra (emisszió, zajterhelés) egyaránt. Az eredmények igazolják, hogy a javasolt módszer kedvező hatást gyakorol mind a közlekedők komfortérzetére, mind a hálózat mentén élők életminőségére. A kutatás célja vizsgálni, hogy ezek a mutatók együttesen javíthatóak-e magasabb szintű döntéshozás bevezetésével.

Mitrenga Márk

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Multimodális nagy nyelvi modellek vizuális képességeinek vizsgálata járműipari alkalmazhatóság szempontjából

A járművek sérüléseinek automatikus felismerése és kategorizálása fontos kutatási irány a modern számítógépes látás és mesterséges intelligencia területén, amely egyre nagyobb szerepet kap a járműipari és biztosítási alkalmazásokban, valamint a járműállapot-felmérés és döntéstámogatás területén. A hagyományos, tanított számítógépes látás alapú módszerek - például mély neurális hálózatokra épülő detektorok - nagy pontosságot érhetnek el, ugyanakkor alkalmazásuk jelentős mennyiségű annotált adathalmazt, időigényes tanítást, finomhangolást és feladat-specifikus paraméterezést igényel. Ez nemcsak növeli a fejlesztési költségeket, hanem korlátozza a módszerek gyors adaptálhatóságát és általánosíthatóságát új környezetekben.

A kutatás célja annak vizsgálata, hogy a legújabb multimodális nagy nyelvi modellek (Multimodal Large Language Models, MLLM-ek) milyen mértékben képesek járműsérülések felismerésére és kategorizálására vizuális bemenetek alapján, zero-shot és few-shot megközelítésekben, vagyis feladat-specifikus tanítás nélkül. A vizsgálat különös hangsúlyt fektet arra, hogy az MLLM-ek képi inputokra adott válaszai mennyire következetesek, értelmezhetők és alkalmazhatók járműipari kontextusban.

A projekt keretében összehasonlító elemzés készül a state-of-the-art klasszikus számítógépes látási megoldások és a multimodális nagy nyelvi modellek teljesítményéről a járműsérülések felismerésének feladatában. A kutatás egy strukturált, Python-alapú kísérleti környezetben valósult meg, amely lehetővé teszi különböző modellek egységes szempontok szerinti tesztelését és kiértékelését. Az eredmények hozzájárulnak annak megértéséhez, hogy az MLLM-ek milyen feltételek mellett jelenthetnek életképes alternatívát vagy kiegészítést a hagyományos megközelítésekkel szemben, különösen a tanítási idő és költségek csökkentése mellett. A kutatás hosszabb távon alapot teremthet a multimodális modellek járműipari alkalmazhatóságának további vizsgálatához.

Mitrenga Márk

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Multimodális nagy nyelvi modellek vizuális képességeinek vizsgálata járműipari alkalmazhatóság szempontjából II.

A multimodális nagy nyelvi modellek vizuális képességeinek vizsgálata egyre meghatározóbb kutatási irány a modern mesterséges intelligencia és számítógépes látás területén, különösen a járműipari alkalmazások szempontjából. Az elmúlt évek eredményei rámutattak arra, hogy ezek a modellek képesek komplex vizuális és nyelvi információk integrált feldolgozására, ugyanakkor viselkedésük és teljesítményük értékelése még számos nyitott kérdést vet fel. A hagyományos, tanításon alapuló megközelítésekkel szemben az MLLM-ek egyik legnagyobb előnye a tanítás nélküli alkalmazhatóság, azonban ennek megbízható kiértékelése és összehasonlíthatósága továbbra is kihívást jelent.

A kutatás célja annak vizsgálata, hogy a multimodális nagy nyelvi modellek milyen hatékonysággal képesek járműsérülések felismerésére és kategorizálására vizuális bemenetek alapján, valamint annak elemzése, hogy a különböző prompting stratégiák (zero-shot és few-shot) milyen hatással vannak a teljesítményre. A vizsgálat középpontjában a modellek válaszainak konzisztenciája, interpretálhatósága és gyakorlati alkalmazhatósága áll járműipari kontextusban.

A projekt keretében egy egységes, Python-alapú kísérleti és kiértékelési környezet került alkalmazásra, amely lehetővé teszi különböző multimodális modellek strukturált összehasonlítását egy klasszikus, tanított számítógépes látási megközelítéssel szemben. Az eredmények hozzájárulnak annak pontosabb megértéséhez, hogy a multimodális modellek milyen feltételek mellett képesek versenyképes teljesítményt nyújtani tanítás nélkül és milyen szerepet tölthetnek be a jövőbeli járműipari alkalmazásokban.

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
ELMÉLETI FIZIKA

Layous Róbert

Természettudományi Kar

Elméleti Fizika Tanszék

Dynamics of open quantum systems

The sine-Gordon model plays a central role in different branches of physics. It is a paradigmatic integrable quantum field theory with a rich mathematical structure, and it also provides an effective description of a broad range of one-dimensional condensed matter systems. Despite its importance, computing correlation functions remains highly nontrivial due to the inherently non-perturbative nature of the problem. A powerful numerical method to address this challenge is the Truncated Conformal Space Approach (TCSA), which enables the systematic study of perturbed conformal field theories. In this work, we employ TCSA to investigate the sine-Gordon field theory. More precisely, we compute quantities such as vacuum expectation values, form factors, dynamic structure factors and two-point functions in systems of finite size at zero, as well as finite temperatures. In some limits, the model's integrability offers analytic results, which we use to benchmark and validate our numerical findings.

Benedek Kristóf

Természettudományi Kar

Elméleti Fizika Tanszék

Heterogenitási hatások vizsgálata hálózati modellekben

A kutatás középpontjában komplex hálózatok szinkronizációs tulajdonságainak vizsgálata állt, kiemelten nagyfeszültségű villamosenergia-hálózatok modellezésén keresztül, minél heterogénebb parametrizálással. A munka célja az volt, hogy feltárja, miként befolyásolja a hálózati struktúra és a modell parametrizáció finomítása a szinkronizáció kialakulását, stabilitását és robusztusságát, különös tekintettel a valós rendszereket napjainkban egyre jobban jellemző kis inerciás komponensekre és egyenáramú összeköttetésekre.

A vizsgálatok során másodrendű Kuramoto-modelleken alapuló hálózati modelleket tanulmányoztunk, amelyek fokozatosan integrálták a heterogenitás különböző forrásait. Részletesen elemeztük a szinkronizációt jellemző klasszikus és újabb metrikák idősoros viselkedését, valamint azok érzékenységét a hálózati topológia és a paraméterválasztás függvényében. Külön figyelmet fordítottunk a kaszkád meghibásodásokkal szembeni ellenállóképességre és a strukturális módosítások hatásaira, amelyek alapján általános iránymutatásokat fogalmaztunk meg a hálózatok megerősítésére. Ezen vizsgálatainkat szoros együttműködésben végeztük dr. Hartmann Bálinttal és kutatás célkeresztjében a magyar erőáramú hálózat állt.

A kutatás egyik kiemelt eredménye a nagyfeszültségű egyenáramú (HVDC) élek integrálása a szinkronizációs modellekbe, pontosabban a kontinentális európai hálózatba. A szimulációk kimutatták, hogy ezek az élek növelik a rendszer globális szinkronizációját és robusztusságát, ugyanakkor adaptív modellezési esetben hosszú tranziens időszakok megjelenéséhez vezethetnek, ami fontos szempont a valós rendszerek dinamikai értelmezésében. Abban az esetben, amikor HVDC kapcsolatokat statikus energiaforrásokként vagy nyelőkként értelmezzük, a szinkronizáció marginálisan csökken, viszont eltűnnek a hosszú átmeneti idők az egyensúlyi állapot felé. Emellett megkezdtuk a kontinentális európai villamosenergia-hálózat stabilitásának elemzését fixpont-analízis segítségével, amely megalapozza a jövőbeli vizsgálatokat regionális kiesések hatásának feltárására.

A kutatás eredményeit több nemzetközi folyóiratban és konferencián publikáltuk és mutattuk be. A munka szerves részét képezte a tehetséggondozás, TDK-hallgató témavezetése Gergorio Jaca személyében, valamint oktatási és tudománynépszerűsítő tevékenységek, amelyek hozzájárultak a numerikus módszerek és komplex hálózati szemlélet szélesebb körű terjesztéséhez. TDK kutatásunkkal kari I. helyet nyert Gregorio.

Csépányi István

Természettudományi Kar

Elméleti Fizika Tanszék

Nyílt kvantumrendszerek dinamikája

Előadásomban nyílt kvantum soktestrendszerekhez kapcsolódó kutatásom elméleti alapjait ismertetem. Az előadás első részében bemutatok egy nemrég megjelent módszert, amely lehetővé teszi tetszőleges kvantum rendszer véges hőmérsékletű Gibbs-állapotának előállítását egy megfelelően megválasztott Lindblad-dinamika segítségével. A konstrukció alapja egy olyan Lindblad-egyenlet felírása, amely kielégíti a részletes egyensúly kvantum megfelelőjét, így a kívánt Gibbs-állapot a dinamika stacionárius állapotaként jelenik meg. Ez a megközelítés jól értelmezhető analógiát mutat a klasszikus Markov-folyamatokon alapuló termalizációs módszerekkel.

Az előadás második részében azt vizsgálom, hogy ebben a keretrendszerben milyen szerepet játszanak a szimmetriák. Zárt rendszerekkel ellentétben Lindblad-dinamika esetén egy adott szimmetria eltérő módon jelenhet meg a nyílt rendszer leírásában: megkülönböztethetünk erős és gyenge szimmetriákat attól függően, hogy a szimmetria milyen kapcsolatban áll a Lindblad-operátorban megjelenő disszipátorokkal. Ez a különbségtétel különböző spontán szimmetriasértési mechanizmusok megjelenéséhez vezethet, beleértve az erős szimmetriából gyenge szimmetriába történő spontán szimmetriasértés (strong-to-weak spontaneous symmetry breaking) jelenségét is. Bemutatom, hogy ezek a jelenségek miként befolyásolják a termalizáció dinamikáját, a Gibbs-állapothoz való konvergenciát, valamint a stacionárius állapotok szerkezetét és degeneráltságát a részletes egyensúlyt kielégítő Lindblad-dinamika keretében.

Fitos Bence

Természettudományi Kar

Elméleti Fizika Tanszék

Kvantum soktest rendszerek nem-perturbatív dinamikája

Az elmúlt évek különösen aktív tudományos területe az alacsonydimenziós kvantumtérelméleti modellek vizsgálata. Alacsony dimenzióban felerősödnek a kvantum fluktuációk, amely erősen korrelált dinamikához vezet. Ezen erősen korrelált rendszerek sok esetben integrálhatók, mely lehetőséget ad az adott modell széleskörű elméleti leírására. Bár a közelmúltban jelentős előrelépések történtek az alacsonydimenziós rendszerek termalizációjának és egyensúlyi állapotának leírásában, jóval kevesebb megértésünk van azonban az egyensúlytól távoli, időfüggő dinamika leírásában (kvantum kvencsek). A kutatás fő célja olyan módszerek kifejlesztése, melyekkel a nemegyensúlyi dinamika hatékonyan modellezhető.

Az alacsonydimenziós statisztikus modellek fontosságát tovább növeli, hogy az utóbbi évek előrelépéseinek köszönhetően ezen erősen korrelált modelleket manapság kísérletileg is sikerült realizálni. A Bécsi Műszaki Egyetem (Technische Universität Wien) Atomchip kísérletében demonstrálták, hogy az erősen kontrollált hidegatomai rendszerek alkalmasak kvantum soktest rendszerek dinamikájának vizsgálatára. Ezen kutatás további célja értelmezni és modellezni a kapott kísérleti eredményeket.

A kísérletileg is vizsgált csatolt kondenzátumok hű leírását a sine-Gordon kvantumtérelmélet, valamint annak kiterjesztéseit adják. A dinamika leírásához elsődlegesen a TWA (truncated Wigner approximation) numerikus eljárást alkalmaztam, mely egy szemiklasszikus közelítés, amely alkalmas gyengén kölcsönható bozonikus rendszerek leírására.

Részletes analízis során megvizsgáltam, hogy a sine-Gordon modell különböző elméleti kiterjesztései milyen hatással vannak a rendszer dinamikájára, illetve a kvalitatív fizikai jelenségekre. A vizsgálatok eredményeképp a kiterjesztett modell számos elemének kvalitatív hatását sikerült tisztázni: többek között meghatározni a nemlinearitás, inhomogenitás, illetve a common-módus-csatolás relevanciáját, a véges hőmérséklet hatását, illetve a phase locking feltételét. Ezen eredmények tehát összekapcsolják a modell elméleti konstrukcióit a tapasztalt fizikai jelenségekkel, így direkt jóslatokat és biztató irányokat jelölnek ki egy esetleges fejlesztéshez a kísérleti oldalon.

A kutatási munkából készített kézirat megtalálható az arXiv preprint serveren (cond-mat, arXiv:2512.13901).

Kondákor Márk

Természettudományi Kar

Elméleti Fizika Tanszék

Elektron-fonon kölcsönhatás elemi rénumban

A szupravezetők olyan anyagok, melyek lehetővé teszik az elektromos áram ellenállásmentes továbbítását alacsony hőmérsékleten. Sajátos mágneses tulajdonságaik révén olyan technológiai megoldásokat tesznek lehetővé, amelyek elengedhetetlenek az MRI-berendezések, a SQUID-ek és a nagy teljesítményű elektromágneses eszközök megvalósításához. Emellett a mágnesesen rendezett szupravezetők felfedezése és alkalmazási lehetőségeinek feltárása jelenleg is aktív kutatási terület. Kutatásomban az elemi rénum szupravezető fázisát vizsgáltam mikroszkopikus a modellek szintjén. Müonspektroszkópiai kísérletek és ab initio számítások alapján ez a rendszer alapállapotában spontán módon sértheti az időtükrözési szimmetriát, miközben gyenge antiferromágneses rendeződést mutat.

Munkámban egy korábbi kutatási program folytatásaként klasszifikáltam, hogy egy önkonzisztens reciproktérbeli Bogoljubov-de Gennes Hamilton-operátorban a kristályszimmetriák milyen szupravezető párpotenciálokat engednek meg, illetve melyek jelenhetnek meg spontán szimmetriasértés esetén. Ezt kiegészítve egy szoroskötésű minimálmodellt alkottam, amelyben a szupravezető kvázirészecskék a megengedett párpotenciálok bevezetésével lokális mágnesezettséget és a várt antiferromágneses rendeződést indukálják. Azonosítottam a modell azon paramétereit és jellemzőit, amelyek kulcsszerepet játszanak a spontán rend kialakulásában, ezzel irányt mutatva a további numerikus és kísérleti vizsgálatok számára. Végül megvizsgáltam, hogy az egyes szupravezető párpotenciálokhoz milyen topologikus tulajdonságok társulhatnak, ami ígéretes kérdéseket vet fel a topologikus szupravezetők jövőbeli kutatásában.

Nagy Botond

Természettudományi Kar

Elméleti Fizika Tanszék

Általánosított hidrodinamika a sine-Gordon modellben

A kvantumtranszport és az integrálható kvantumrendszerek dinamikájának mélyebb megértéséhez elengedhetetlen a megmaradó mennyiségek statisztikájának és fluktuációinak feltérképezése. Kutatásunk a sine-Gordon modell termodinamikai vizsgálataira építve a full counting statisztika (FCS) kiszámítására összpontosított, amely egy általánosított szabadenergia és amelynek deriváltjai megmaradó mennyiségek várható értékeit, szórásait és magasabb kumulánsait adják meg.

A sine-Gordon modell TBA (termodinamikai Bethe Ansatz) formalizmusát kibővítve egy numerikus módszert dolgoztunk ki az FCS meghatározására.

Kutatásunk során numerikusan implementáltuk az FCS kiszámítását, valamint analitikusan meghatároztuk a második, harmadik és a negyedik kumuláns TBA-kifejezéseit a modell három legegyszerűbb megmaradó mennyiségére: a topológiai töltésre, az impulzusra és az energiára. A numerikus és analitikus eredmények szoros egyezést mutattak, alátámasztva a módszertan helyességét. Eredményeink szerint a topológiai töltés árama fraktálviselkedést mutat a csatolási állandó függvényében, míg maga a topológiai töltés, az impulzus és az energia folytonos függvények.

A kutatás során átfogóan feltérképeztük a kumulánsok viselkedését a hőmérséklet és a modell csatolási állandójának függvényében. Bizonyos határesetekben (alacsony/magas hőmérséklet) analitikus eredményekkel is összevethetők numerikus számításaink. A numerikus és analitikus eredmények jó egyezése alátámasztja az alkalmazott módszerek helyességét és megbízhatóságát.

Svastits Domonkos

Természettudományi Kar

Elméleti Fizika Tanszék

Spin-qubitek egyelektron-tranzisztorral történő kiolvasásának modellezése

A félvezető kvantumpöttyökben kialakított spin-qubitek a skálázható kvantumszámítástechnika ígéretes platformját jelentik. Jelenleg azonban a qubit-műveletek még túlságosan zajosak a gyakorlati alkalmazásokhoz és gyakran a kiolvasás bizonyul a legkritikusabb hibaforrásnak. A kiolvasás általában Pauli-blokádon alapuló spin-töltés konverzió és töltésérzékelésen alapul. Ebben a munkában egy egyelektron-tranzisztorral (SET) megvalósított töltésérzékelés mikroszkopikus modelljét alkottam meg a spin-qubit kiolvasás fejlesztése érdekében. A modellezett kísérleti elrendezés egy mikromágnessel felszerelt n-típusú szilícium kettős kvantumpötty, a modell azonban ennél általánosabb keretek közt is alkalmazható. Modellünk a mérési folyamat mikroszkopikus, dinamikai leírását adja. Igazoltam, hogy a mérés nemkívánatos visszahatást (back-action) vált ki a qubit energia sajátállapotai közötti inkoherens átmenetek formájában, a QPC-kre vonatkozó jóslatokhoz hasonlóan (D. Svastits et al., arXiv:2505.15878 [quant-ph]). Kiszámoltam továbbá a mérési ráta, azaz a mérés sebességének függését a qubit Hamilton-operátorától. A kiolvasási hiba (infidelity), a mérés utáni állapot kevertsége és a számítási bázisból való szivárgás (leakage) paraméterfüggése jól megérthető az átmeneti ráták és a mérési ráta paraméterfüggésein keresztül. További cél a gyakorlatban megvalósítható stratégiák javaslata a mérési ráta növelésére és az átmeneti ráták csökkentésére.

FIZIKA

Sinóros-Szabó Zsombor

Természettudományi Kar

Fizika Tanszék

Vanádium-dioxid alapú neuromorfikus eszközök vizsgálata

Az utóbbi években egyre több kutatás irányul a hagyományostól eltérő, alternatív megközelítést alkalmazó számítástechnikai architektúrák fejlesztésére. A rezisztív kapcsoló memóriák (memrisztorok) kiváló építőelemek lehetnek mesterséges neurális hálózatok létrehozásában, amelyek a masszív párhuzamosításnak és a memóriában történő számítások elvégzésének köszönhetően rendkívül gyors és nagy energiahatékonyságú működést ígérnek. Memrisztorhálózatok kialakításánál a gyakorlatban komoly kihívást jelent az egyes elemek karakterisztikájában jelentkező eltérések minimalizálása. Habár a kutatócsoportunk részletesen tanulmányozott egyedi, planáris, azaz működés szempontjából egy síkban elrendezett VO₂ memrisztorokat, ezek jelentős szórást mutattak eszköztől eszközre a kapcsolás paramétereit illetően. Ennek kiküszöbölésére tértünk át egy olyan elrendezésre, amelyben az elektródák vertikálisan helyezkednek el, lehetőséget teremtve a keresztaszal (crossbar array) kialakítására. A minták karakterizációjához egy új mérőrendszert fejlesztettünk, amely alkalmas szekvenciálisan, automatizált módon megmérni a hálózat elemeinek áram-feszültség karakterisztikáit. Ezen rendszerrel részletesen vizsgáltam különféle fabrikációs paraméterekkel létrehozott egyedi, illetve mátrix elrendezésű vertikális VO₂ memrisztorokat, majd hasonlítottam össze a korábbi mérési eredményekkel. Ezek alapján a vertikális memrisztorok kapcsolási karakterisztikái lényegesen kisebb szórást mutattak a planáris eszközökkel szemben, stabilabb és megbízhatóbb működést biztosítva. Az optimális fabrikációs paraméterek azonosításához elektronikus zajméréseket is alkalmaztam; ez a mérés technika kiváló eszköz a belső dinamika feltárására is az eszközoptimalizáció mellett. Vizsgáltam továbbá a hálózatban szomszédos memrisztorok egymásra gyakorolt hatását egyszerre több memrisztor párhuzamos mérésével. Emellett élettartamra vonatkozó méréseket is végeztem nagyszámú kapcsolással.

Vincze Csongor

Természettudományi Kar

Fizikai Intézet

Vizsgálódás az SNN-ek témakörében

Kutatásom első részében áttekintettem és összehasonlítottam a hangforrás irányának meghatározására (DOA - Direction of Arrival) szolgáló legismertebb matematikai módszereket, fókuszálva a beérkezési időkülönbségen (TDOA) alapuló algoritmusokra. A kiválasztott eljárásokat Python nyelven implementáltam, majd kiterjedt összehasonlító méréseket végeztem velük különböző zajszintű akusztikai környezetekben, kiértékelve azok pontosságát, robusztusságát és számítási igényét. Ezt követően egy biológiai ihletésű, új megközelítést, egy ún. koincidenciadetektálási módszert vizsgáltam, amely az emberi hallás mechanizmusát modellezi. A hálózatot LIF (leaky integrate-and-fire) spiking neuronok segítségével szimuláltam szoftveres környezetben (python Brian2 könyvtár). A szimulációs eredmények egyértelműen igazolták a módszer működőképességét és lehetséges gyakorlati alkalmazhatóságát. Mivel a neuromorf megközelítés rendkívül gyors jelfeldolgozást és alacsony fogyasztást ígér, kutatásom záró szakaszában megkezdtem a módszer valós idejű, célhardveren történő megvalósításának előkészítését.

Volk János

Természettudományi Kar

Fizika Tanszék

Biológiai jelek feldolgozása memrisztív eszközökkel

Kutatási munkám középpontjában neuromorfikus számítástechnikai eszközök, konkrétan a tantál-oxid (Ta_2O_5) alapú memrisztorok vizsgálata állt. A projekt kiindulópontját az adja, hogy a hagyományos Neumann-architektúrájú számítógépek a mesterséges intelligencia és a nagy adatmennyiségű biológiai jelek feldolgozása során jelentős energiahatékonysági korlátokba ütköznek. Ezzel szemben az emberi agy működéséből inspirációt merítő memrisztív eszközök lehetőséget nyújtanak az adatok helyben történő feldolgozására, rendkívül alacsony energiafogyasztás mellett.

A kutatás során az eredeti célkitűzés, a biológiai jelek (például EKG vagy neurális tüskék) közvetlen memrisztív feldolgozása, időközben inkább a fizikai alapfolyamatok mélyebb megértésének irányába alakult. Hiszen ahhoz, hogy ezen eszközöket hatékonyan alkalmazhassuk komplex idősorok predikciójára vagy osztályozására, elengedhetetlen a rezisztív kapcsolási dinamika pontos, nagyfrekvenciás tartományban történő feltérképezése. Munkám során egy olyan mérési összeállítást alkalmaztam, amely lehetővé tette a Ta_2O_5 memrisztorok viselkedésének vizsgálatát egészen a 20 MHz-es tartományig.

A kísérleti fázisban meghatároztam a kapcsolásukat mechanizmusát leíró paramétereket. A mérési adatok feldolgozásához egy numerikus modellt alkottam, melynek illesztését Bayesi optimalizációs eljárással végeztem el. Ez a módszer lehetővé tette a modell paramétereinek meghatározását és azok bizonytalanságának becslését bootstrap eljárással. Illetve alkottam egy modellt, amely képes utánozni az eszköz sztochasztikus jellegét.

A dinamikai vizsgálatok mellett elemeztem a memrisztorok energiaigényét is. Az eredmények kimutatták, hogy a vizsgált Ta_2O_5 eszközök rendkívül jól skálázódnak, így kiválóak lehetnek céleszközökbe való integrálásra. Legyen ez rádió frekvenciás, vagy biológiai jelek feldolgozása.

Összegzésként megállapítható, hogy a kutatás során sikerült felállítani egy olyan kísérleti és elméleti keretrendszert, amely alapjául szolgálhat a jövőbeli, biológiai jelfeldolgozásra optimalizált rezervoár számítási (reservoir computing) rendszereknek. A 20 MHz-es tartományig elvégzett dinamikai karakterizáció és a kidolgozott numerikus modell közvetlenül elősegíti a memrisztív alapú, valós idejű neurális jelfeldolgozó hardverek megvalósítását.

Fekete Levente

Természettudományi Kar

Fizika Tanszék

Andrejev molekula vizsgálata InAs alapú kvantumpötty rendszerekben

A szupravezető-félvezető heterostruktúrákban megvalósított Cooper-pár szétválasztás napjainkban kiemelt kutatási terület, mivel lehetőséget biztosít összefonódott elektronpárok kontrollált előállítására, ami kulcsfontosságú a kvantuminformációs és kvantumkommunikációs alkalmazások szempontjából. A jelenség kísérleti vizsgálatát azonban gyakran megnehezíti, hogy a hagyományos, kapuelektrodákkal definiált kvantumpöttyök nem kellően élesen lokalizáltak, ami csökkenti a szétválasztás hatékonyságát és reprodukálhatóságát. Egy ígéretes alternatív megközelítést jelentenek a kristálytanilag definiált potenciálgátakkal rendelkező félvezető nanopálcák, amelyekben a kvantumpöttyök kialakulását nem külső elektromos tér, hanem a kristályszerkezetben létrejövő, éles potenciálgátak biztosítják. Dolgozatomban egy ilyen nanopálca nagyfrekvenciás reflektometriával történő karakterizálását mutatom be, valamint ismertetek egy olyan geometriai elrendezést, amelyben a Cooper-pár szétválasztás megvalósítható. Dolgozatom fő eredményeként bemutatom, hogy a kvantumpöttyök lokalizáltságának mértéke jelentősen növelhető kristálytanilag definiált potenciálgátak felhasználásával, így a Cooper-pár feltörés hatékonysága is javítható.

Pollner Zsigmond Sándor

Természettudományi Kar

Fizika Tanszék

Nanoméretű ultragyors memrisztorok vizsgálata

A digitális adatok mennyiségének exponenciális növekedése nagy teljesítményű, ugyanakkor energiahatékony számítástechnikai megoldásokat tesz szükségessé. A Neumann-architektúra korlátainak áthidalására a neuromorfikus számítási megközelítések jelentenek ígéretes alternatívát, melyekben az adattárolás és a feldolgozás egy egységben valósul meg. Ilyen rendszer például az oszcillátor-alapú neurális hálózat (ONH), melyben az oszcillátorok csatolási mértékében (pl.: csatoló kapacitás értéke) kódolható a probléma, míg a megoldást az oszcillátorok egymáshoz képesti fázisa adja. A számítási előnyök különösen jól illeszkednek az olyan perifériás eszközökhöz, ahol az energiahatékonyág rendkívül fontos.

Az oszcilláló hálózatok alapvető építőelemei könnyen megvalósíthatók memrisztorok, például vanádium-dioxid (VO₂) felhasználásával. Bebizonyosodott, hogy a VO₂-alapú oszcilláló neurális hálózatok komplex optimalizációs problémákat, mint például a Max-Cut vagy a gráfszínezés, pár oszcillációs periódus alatt képesek megoldani. A memrisztor-alapú oszcillátorok alacsony működési frekvenciája miatt azonban, ennek az ígéretes rendszernek a teljes potenciálját eddig még nem használták ki.

Korábbi munkámra építve, amelyben 30 nm-es aktív tartományú eszközök alkalmazásával sikerült az oszcillációs frekvenciát 100 MHz fölé emelni, azt a hipotézist állítottam fel, hogy az aktív tartomány további miniaturizálása még magasabb működési frekvenciákat eredményezhet. Elektromigrációt alkalmaztam a 30 nm alatti méretek elérésére, hogy így elkerülhessem a hagyományos elektronlitográfia felbontási korlátait. Az elektromigráció lényege, hogy egy fém nanovezetéket szabályozottan elszakítunk, így egy nanométeres nagyságrendű rés keletkezik; ez a rés szolgál az eszköz aktív tartományaként, amelyet sikeresen 10 nm-re sikerült csökkentenem. Ezek a miniaturizált, integrált eszközök 641 MHz-es rekordfrekvenciát értek el, ami közel négyszeres javulást jelent a korábbi 167 MHz-es rekordomhoz képest. Az ETH Zürich-hel együttműködésben végzett mérések 500 ps alatti ellenállás-relaxációt is mutattak, megerősítve, hogy a VO₂ nanorés eszközök belső dinamikája kompatibilis a GHz-tartományú működéssel. A különböző méretű eszközök termikus karakterisztikus idejeit végelelem szimuláció segítségével hasonlítottam össze. Ezen felül vizsgáltam VO₂ memrisztorok, nem illékony eszközök mellé integrálhatóságát is.

Az ETH Zürich-hel együttműködésben végzett nagyfrekvenciás méréseim az első kísérleti megvalósításai az ~500 MHz-es tartományban működő VO₂ oszcillátoroknak, ilyen frekvenciájú oszcillátorokat eddig csak szimulációkban mutattak be. A 0,65 GHz-ig terjedő frekvencianövekedés lehetővé teszi a hagyományos számítástechnika órajeleihez közeli, energiahatékony működést.

Baumgärtner Margaréta

Természettudományi Kar

Atomfizika Tanszék

A kiterjesztett valóság vizsgálata a head-up kijelző rendszerekben

Az autóipari head-up display (HUD) rendszerek alapvető vezetési információkat (sebesség, navigáció, figyelmeztető üzenetek) jelenítenek meg a szélvédőn, lehetővé téve a járművezetők számára, hogy tekintetüket folyamatosan az úton tartsák. Alkalmazásuk hozzájárul a biztonságos vezetéshez, csökkenti a járművezető terhelését és javítja a vezetés általános hatékonyságát. A HUD technológia alapja, hogy egy optikai rendszer a képernyő virtuális képét egy kombináló elemre, legtöbbször egy speciális bevonattal rendelkező szélvédőre vetíti. A jelenlegi HUD rendszerek érzékenyek az optikai hibákra és nagyon szűk látómezővel rendelkeznek, ami akadályozza a kiterjesztett valóság (augmented reality, AR) funkciók alkalmazását.

A kutatás elsődleges célja egy kiterjesztett valóságot alkalmazó HUD megvalósítása, amely a szélvédőn keresztül látott valós környezetet pontosan összehangolt virtuális elemekkel egészíti ki. A fejlesztés fő kihívásai többek között a magas képminőség biztosítása, a virtuális objektumok pontos integrálása a valós környezetbe és a vizuális diszkomfort minimalizálása.

Az előadásban bemutatott munkám fókuszában két kérdés állt: a kiterjesztett valóság alkalmazásának hatása a vezetésre, valamint, hogy az AR funkciókat két- vagy háromdimenziós megjelenítéssel érdemes megvalósítani. A 2D megjelenítést alkalmazó elrendezésben a szélvédőn egy hagyományos képernyő képe tükröződik, míg a 3D rendszer egy speciális, sztereoszkópikus képernyőt használ.

A kérdések megválaszolásához egy 2D AR HUD-ot tartalmazó autós szimulátorra dolgoztam ki tesztek, amelyekben sok résztvevőn vizsgáltuk meg a virtuális valóság funkciók megítélését és vezetésre gyakorolt hatásait. A 3D AR vizsgálatához kidolgoztunk egy tesztrendszert, amelyen a továbbiakban a sztereoszkópikus vetítés head-up displayekben való alkalmazhatóságát vizsgálom majd, különös tekintettel a sztereó vetítés érzékelésre és komfortra gyakorolt hatásaira.

Fehérvári János Gergő

Természettudományi Kar

Fizika Tanszék

Adattudománnyal támogatott atomerőmikroszkópiai módszerek fejlesztése félvezetőipari alkalmazásokhoz

A XXI. században a hardver oldali méretcsökkentés eléri fizikai korlátait: a félvezetőipar a tranzistorok áttervezésével és alternatív architektúrák fejlesztésével elégíti ki a növekvő számítási igényeket. Mind az ipari mind pedig az akadémiai területen magas az igény a minták széleskörű, jó felbontású, megbízható karakterizálására.

Ezeket az igényeket felületi topográfia szempontjából az atomerő mikroszkóp (AFM) kielégíti, azonban a minták elektromos jellemzésében van még tér fejlesztéseknek. A KDP keretein belül AFM módszerek fejlesztésével foglalkozom, melyek mind az akadémiai feltáró vizsgálatokra (1.), mind pedig az ipari alkalmazott mérésekre alkalmasak (2.). Céлом ezenkívül az eszköz stabilabbá tétele környezeti behatásokkal szemben (3.).

Az előadásomban a következő három pontban elért előzetes eredményeket fogom prezentálni:

1. A memrisztorok olyan (különböző elveken működő) fizikai rendszerek, amelyek nagy feszültségen írhatóak, kis feszültségen olvashatóak és alkalmasak nem-illékony információátvitelre. Fizikai működésük részletei jelenleg is aktív kutatás tárgyát képezi és elterjedő módszer az eszköz zajkarakteristikáján keresztül feltárni a rendszerek belső szerkezetét. Elsőként a vezető AFMmel elvégezhető lokális zajmérés irányába tett lépéseket mutatom be.

2. Kísérleti jelleggel léteznek a fémes AFM tű és minta közti kapacitív csatolást vizsgáló technikák, melyek a lokális töltéshordozókoncentráció mérését teszik lehetővé. A második részben kitérek az ilyen mikrohullámú becsatolással történő kísérleti mérések eredményeire.

3. Az AFM berendezések környezeti hatásokra fokozottan érzékenyek, ipari környezetben a vázszerkezet mechanikai, illetve a levegő akusztikus rezgései jelentik a legnagyobb kihívást. Megfelelően elhelyezett gyorsulásmérő szenzorokkal a környezeti zajszint változásai detektálhatóak és a mérési eredményből kitranszformálhatóak. Zárásul bemutatom az AFM tű - szenzor közti átvitel kimérést szolgáló kísérleti elrendezést és az ezen elvégzett mérések eredményét.

Kucsera Robin

Természettudományi Kar

Fizika Tanszék

Szilárdtest alapú kvantumtechnológiai realizációk kísérleti és elméleti vizsgálata

A szilárdtest-alapú kvantumtechnológiák egyik legígéretesebb platformját a gyémántbeli nitrogén-vakancia (NV) centrumok jelentik. Kvantumszenzor- és kvantumbit-alkalmazások esetén alapvető követelmény a kvantumállapotok hatékony inicializálása, vagyis egy nagyfokú spin-polarizációval rendelkező állapot előállítása. A munka az NV centrumok optikailag indukált spin-polarizációjának vizsgálatára, különös tekintettel a nagy optikai teljesítmény melletti melegedési hatások kontrolljára irányul. A mérésekhez egy egyedileg tervezett, mikrokontroller-vezérelt optikai szaggató rendszert fejlesztettem, amely lehetővé teszi a lézermegvilágítás időbeli paramétereinek precíz szabályozását és az ESR-mérésekkel való szinkronizációt. A kialakított rendszer segítségével kvantitatívan meghatároztuk a gyémántminták karakterisztikus melegedési és hűlési időállandóit, majd ezek alapján optimalizáltuk az optikai impulzus-szekvenciákat. Az ideális mérési körülmények között, minimális melegedés mellett, 80% feletti spin-polarizációt értünk el nagy NV centrum-koncentrációjú gyémántminták esetén.

Tóth Balázs

Természettudományi Kar

Atomfizika Tanszék

Atomisztikus léptékű szimulációk a gyémántban és más félvezetőkben kvantumbitként működő pontszerű hibákról

A félvezetőkben létrehozott ponthibákban csapdába ejtett elektronok jelentős kvantumtechnológiai alkalmazhatósággal rendelkeznek. Ahhoz, hogy a kísérleti fizikusok képesek legyenek detektálni ezeket a ponthibákat, kulcsfontosságú megértenünk az optikai spektrumuk finomszerkezetét. Mivel ezen ponthibák gyakran háromforgású szimmetriával rendelkeznek, a ponthibára lokalizált kétszeresen degenerált rácsrezgések és a kétszeresen degenerált pályaállapotok között ún. dinamikus Jahn-Teller effektus jön létre. Ennek hatására a lumineszcencia spektrum zérus fonon vonala (ZPL) felhasad, mágneses térben pedig további felhasadások figyelhetők meg a Zeemann kölcsönhatás miatt. Ezeknek a jelenségeknek a szimulálására létrehoztam az Exe.py kódot és a hozzá tartozó jahn-teller-dynamics könyvtárat, amely matematikai és kvantummechanikai eszközöket tartalmaz. A program működését a gyémántba elhelyezett negatív töltésű IV-es főcsoport ponthibák mágneses ZPL spektrumának szimulálásával mutatom be. Továbbá kiszámoltam a gyémántban lévő semleges N3V ponthiba ZPL csúcsának finomszerkezeti felhasadását, ahol kísérletekkel megegyező eredményeket kaptam. A dinamikus Jahn-Teller effektus a ponthibákon kívül molekulákban is szerepet játszik, emiatt a methoxy gyök optikai átmenetének is megvizsgáltam a spin-pálya indukált finomszerkezetét, ahol szintén egyezést kaptam a kísérleti adatokkal.

Mikeházi Antal János

Természettudományi Kar

Fizika Tanszék

A funkcionális molekulák szerkezet-funkció kapcsolatának tisztázása a legkorszerűbb röntgenspektroszkópiával és szórással

Munkám, kutatásom fő iránya funkcionális molekulák szerkezet-funkció kapcsolatának tisztázása a legkorszerűbb röntgenspektroszkópiával és szórással, valamint nagy energiafelbontású röntgenspektrométer prototípusok fejlesztése. Doktori kutatásom részeként kéntartalmú rendszerek vizsgálatával foglalkozom nagyberendezéses méréseken keresztül. A ditienil alapú molekuláris kapcsolók széles körben alkalmazhatók, UV-látható fény hatására képesek kereszt-konjugált állapotból lineáris konjugált állapotba váltani. A molekuláris mérnöki munkához elengedhetetlen e rendszerek működésének mélyreható megértése. Egyes rendszerek nem képesek fotociklizálódni, valószínűleg azért, mert ezek a rendszer aromásabbak és így „ellenállóbbak” a fotociklizációval szemben. Tehát az aromáság vizsgálata a konjugált tiofén tartalmazó rendszerekben elkerülhetetlen. Ezen érdekes tulajdonságok miatt elengedhetetlen a szerkezet és a funkció közötti kapcsolat teljes feltárása és megértése. Egy kéntartalmú mintasorozatot röntgenemissziós (XES, SNN135636 2022 Ljubljana JSI 2MV tandetron, proton gerjesztés) valamint röntgenabszorpciós spektroszkópiával (XANES, EXAFS, 259016 Krakow, SOLARIS Astra mérőállomás, szinkrotronsugárzás 2025) vizsgáltam és jelentős különbséget sikerült kimutatni a mintasorozat K β spektrumainak finomszerkezete között, az emissziós spektrumok alapján kijelenthetjük, hogy az S K β XES érzékeny a ditiofén rendszerek ciklizálódására (átkapcsolására), a szerkezeti izomerizmusra és az aromáság szomszédos gyűrűk általi destabilizálására. Doktori munkám második részeként egy a doktori kutatásom elején elkezdett laboratóriumi tender energiatartományú spektrométer fejlesztésével foglalkoztam, melynek célja, hogy kis rendszámú atommagok (kén, foszfor) karakterisztikus röntgenemissziója is mérhető legyen laboratóriumi körülmények között. Másod sorban egy keményröntgen-spektrométer elrendezéssel foglalkoztam, az elrendezés célja VTC (valence-to-core) emisszó mérése szimultán K β emissziós csúcsok mellett. Mindkét készüléken az első sikeres tesztméréseket végeztem el.

Szász Bence

Természettudományi Kar

Fizika Tanszék

Magnon- és elektronrezonanciák hibridizációja mágneselektromos kristályokban

Az ipari partnernél, a Semilabnál végzett kutatómunkám során egy egyedülálló mobilis alacsonyhőmérsékletű mérőállomást fejlesztettem. A megvalósított, teljesen automatizált optikai mérőrendszer kristályos anyagok spektroszkópiai méréseihez használható 10 K feletti hőmérséklettartományban. A mérőeszköz segítségével nem csak félvezetők iparban fontos vizsgálata válik lehetővé, hanem alapkutatási problémák mélyebb megértése is. A berendezéssel kétdimenziós Van der Waals mágneseket, pl. MnPS₃-at vizsgáltam és ezek fotolumineszcencia spektrumában megfigyelhető nagyenergiájú gerjesztéseket ismertetem az előadásomban. Ezenfelül a BME Komplex Mágneses Struktúrák kutatócsoport tagjaként SmFe₃(BO₃)₄ antiferromágneses mintán végeztem közeli infravörös spektroszkópiai méréseket különböző külső mágneses terek mellett. Kísérleteim a mágnesesen rendezett kristályok statikus és dinamikus mágneses válaszának mélyebb megértését teszik lehetővé, elősegítve a jövőbeli számítástechnikai alkalmazási lehetőségeket.

Szentpéteri Bálint

Természettudományi Kar

Fizika Tanszék

Grafén alapú heteroszerkezetek vizsgálata mechanikai alakváltozás hatására

A szilárdtestfizika egyik legintenzívebben kutatott területe a kétdimenziós anyagokból felépülő van der Waals (vdW) heteroszerkezetek tulajdonságainak vizsgálata. Ezek nem rég felfedezett különlegessége a standard heteroszerkezetekkel szemben, hogy az őket felépítő kristályok relatív kristálytani orientációjától jelentős mértékben függenek a tulajdonságaik. Például, ha két grafén réteget, mely egy atomi réteg vastag grafit egymásra helyezünk az úgynevezett mágikus szögben ($\sim 1.1^\circ$), akkor alacsony hőmérsékleten egzotikus fázisokat figyelhetünk meg például szupravezetést, korrelált szigetelő állapotokat, illetve mágneses fázisokat [1-3]. Ezen tulajdonságokat a rétegek között fellépő kölcsönhatások határozzák meg, melyek erőssége függ a rétegek közötti távolságtól. Emiatt a vdW heteroszerkezetek érzékenyek a mechanikai alakváltozásokra. Például nyomás hatására, mely által a rétegek közelebb kerülnek egymáshoz, a rétegek közötti kölcsönhatások erőssége megnő, mely nagy mértékben befolyásolja az anyag sávszerkezetét [4]. Az ösztöndíjas időszak alatt megvizsgáltuk egy csavart kétrétegű grafén mintának a nyomásfüggését. Az előadásomban kitérek arra, hogy hogyan viselkedik a szupravezető fázis, illetve, hogy mi történik a ferromágneses állapotokkal nyomás hatására.

Különböző anyagok kombinálásánál is fontos szerepe van a csavarszögnek, illetve a rétegtávolságnak. Például egy grafén és átmenetifém-dikalkogenid kristályokból álló heteroszerkezetben a grafénben a spin - pálya csatolás (SOC) felerősödik és az erőssége függ a csavarszögtől és a rétegtávolságtól is [5]. Az előadásomban röviden kitérek ezek vizsgálatára transzportmérésekkel.

MATEMATIKA

Beke Márton

Természettudományi Kar

Algebra és Geometria Tanszék

Felületek konstrukciója 4-sokaságokban

A racionális blowdown művelet a 4-sokaságok topológiájában egy gömbkonfiguráció környezetét racionális homológia-golyóval helyettesíti. Az ilyen konfigurációk tipikusan olyan felületsingularitások feloldásaiból származnak, amelyeknek létezik racionális homológia-golyó simítása. Sejtés szerint minden ilyen szingularitás szükségképpen súlyozottan homogén és néhány klasszikus család valamelyikébe tartozik: Stipsicz-Szabó-Wahl ezekre a családokra QHD-simításokat konstruált és Donaldson tételét felhasználva rendkívül szigorú szükséges feltételeket adott az e tulajdonsággal rendelkező szingularitások feloldási gráfjaira. Ezen eredmények, valamint Bhupal-Stipsicz tétele azt mutatják, hogy bizonyos feloldási gráfok esetén a szingularitás linkjén adott kanonikus kontaktstruktúrának nincsen QHD szimplektikus betöltése. Ezzel szemben mi Stein racionális homológia-golyó betöltéseket állítunk elő racionális szingularitások egy végtelen családjának kontakt linkjeihez, amelyek nem súlyozottan homogének és ezzel egy új szimplektikus racionális blowdown eljárást kapunk. Konstrukciónkat de Jong-van Straten Milnor-fibrumokra vonatkozó, „szendvics” szingularitásokat leíró elmélete inspirálja; a de Jong-van Straten-elmélet szimplektikus analógiát alkalmazzuk, amelyet Olga Plamenevskaya és Laura Starkston dolgozott ki. Az új Stein-betöltéseket „gerinces nyílt könyv” felbontások és majdnem Lefschetz-fibrálások segítségével építjük fel.

Orgoványi Vilma

Természettudományi Kar

Matematika Intézet

Véletlen és determinisztikus fraktálok geometriája

A projekcióelmélet az elméleti matematika és azon belül is a geometriai mértékelmélet egyik jelenleg is virágzó területe, mely egy halmaz merőleges vetületeinek tulajdonságaival foglalkozik. Egy alapvető tétele az 1954-es Marstrand-féle vetítési tétel, mely összefüggést teremt síkbeli Borel-halmazok és vetületeik dimenziója között. Eszerint, amennyiben a halmaz dimenziója nagyobb, mint egy, akkor majdnem minden irányú egyenesre vett vetületének pozitív a hossza és ha a dimenzió legfeljebb egy, akkor az nem csökken majdnem minden irányú egyenesre vett vetület esetében. Előadásomban ezen tétel tükrében mutatom be rács alapú véletlen fraktálok (mint például a Mandelbrot-perkoláció, illetve a véletlen Sierpiński-szőnyeg) egyenesekre vett vetületeinek tulajdonságait. Amennyiben az időkeret engedi, az előadást a témavezetőmmel, Simon Károllyal közös legújabb eredményünk bemutatásával zárom, mely egy eddigi hiátust hivatott kitölteni azokban az esetekben, amikor bizonyos rács alapú véletlen halmazokat racionális tangensű egyenesekre vetítünk.

Kiss Csaba

*Természettudományi Kar
Sztochasztika Tanszék*

Industry-adaptable explainable AI based methodology for forecasting electricity prices

The COVID-19 pandemic and the volatility of the energy market triggered by Russia's invasion of Ukraine have highlighted the critical importance of the reliability and transparency of electricity price forecasting. The use of artificial intelligence models based on explainable AI has become essential for market participants to develop more efficient and informed strategies by making predictions more meaningful. Within the framework of this study, we developed artificial intelligence models based on open-source data and models for forecasting the day-ahead electricity prices in 19 European countries and analyzed the importance of different features in the models for the forecasting using SHAP values. Our results showed that for both 2015–2020 and 2020–2024 periods, the tree-based machine learning models performed best in price forecasting. By analyzing our models using SHAP, we show how much feature importance has changed from 2020 to 2024, demonstrating the increased complexity of electricity price forecasting due to the energy crisis and structural changes in the electricity system.

Köller Donát Ákos

Természettudományi Kar

Sztochasztika Tanszék

Adattudományi és hálózattudományi algoritmusok társadalomtudományi problémák megoldására

A felsőoktatásban széles körben alkalmazott Oktatás Hallgatói Véleményezése (OHV) kulcsszerepet játszik az oktatói teljesítmény értékelésében, az intézményi döntéshozatalban és az oktatásfejlesztési folyamatokban. Ugyanakkor egyre több kutatás hívja fel a figyelmet arra, hogy az OHV pontszámok nem kizárólag a tanítás minőségét tükrözik, hanem számos külső tényező is befolyásolhatja azokat. Jelen kutatás célja e komplex összefüggésrendszer feltárása a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem és a Semmelweis Egyetem adatain alapulva, különös tekintettel az oktatók kutatási produktivitásának és az online oktatás hatásainak vizsgálatára.

A vizsgálat első pillére annak elemzése, hogy az oktatók publikációs teljesítményének és kutatási aktivitásának időbeli változásai miként kapcsolódnak az OHV pontszámok alakulásához, különös fókuszban a STEM területekkel. A második pillér az online oktatás, különösen a COVID-19 járvány idején bevezetett szinkron és aszinkron oktatási formák OHV eredményekre, valamint a hallgatók tanulmányi és karrierkimeneteleire gyakorolt hatásának feltárása.

A kutatás fejlett gépi tanulási módszereket, interpretálható modellezési technikákat és oksági elemzési eszközöket alkalmaz, kiegészítve hagyományos statisztikai megközelítésekkel és természetesnyelv-feldolgozáson alapuló szövegelemzéssel. Az eredmények várhatóan hozzájárulnak az oktatási és kutatási tevékenységek közötti egyensúly jobb megértéséhez, valamint igazságosabb és hatékonyabb oktatói értékelési rendszerek kialakításához. A kutatás hosszú távon támogatja az oktatáspolitikai döntéshozatalt és az innovatív, hallgatóközpontú oktatási stratégiák fejlesztését a digitális és hibrid tanulási környezetekben.

Martos Domonkos

Természettudományi Kar

Sztochasztika Tanszék

Mesterséges intelligencia a biológiai intelligenciában: neurálisan irányított diffúzió a vizuális kéreg dekódolásához

A látókéreg tulajdonságainak vizsgálata az idegtudomány központi kutatási területe, ami radikálisan új eszközöket kapott a fejlett gépi tanulási modellek megjelenésével. Ezek a modellek lehetőséget adnak a fejlett kísérleti technológiák által biztosított komplex adathalmazok adatvezérelt feldolgozásához. Speciálisan a diffúziós modell architektúra magas minőségben képes a tanító adathalmaz eloszlásának megtanulására. Jelen kutatásban egy diffúziós modell erejét használjuk arra, hogy makákó majmok vizuális kérgi neuronjai százainak aktivitásmintázatából dekódolhassuk azt, hogy az állat mi is figyel meg. Ellentétben a kísérleti gyakorlatban használt leegyszerűsített stimulusok dekódolásával, ez a módszer lehetővé teszi a komplex természetes képek visszafejtését is pusztán az idegsejtek megfigyelésével. A gépi tanulás eszközökkel kialakított "digitális iker" modell precízen tudja jósolni az aktivitást mind alacsonyabb szintű, mind magasabb szintű kérgi területekre. Ezt a modellt alkalmazzuk a diffúziós folyamat vezetésére: minden zajtalanítási diffúziós lépés során figyelembe vesszük azt, hogy a digitális iker szerint mennyire a megfelelő neurális aktivitást váltja ki az a kép, ami felé haladunk. A megfelelő hiperparaméterek pontos beállításával elérjük, hogy megbízhatóan dekódoljuk a vizuális ingert a neurális válaszból. Az eljárás lehetőséget ad arra, hogy a vizuális kéreg hierarchiájában transzformálódó neurális kódban rejlő információ átalakulását lehessen nyomon követni. Összehasonlítjuk, hogy a különböző agyterületek neurális válaszaira kondicionálva milyen kvalitatív és kvantitatív tulajdonságai lesznek meghatározóak az eredeti képből a dekódolt kimeneten. A dekódolt képeket visszavetítjük a neurális térbe, ahol kvantifikáljuk az eredeti aktivitáshoz való közelséget és a különböző képek egymástól való távolságát. Munkám a vizuális kérgi neurális kód visszafejtésén keresztül mutatja be, hogy a gépi intelligencia eszközei hogyan engednek bepillantást a biológiai intelligencia folyamataiba.

Bálint Béla

*Természettudományi Kar
Sztochasztika Tanszék*

Utilizing machine learning and generative AI for mathematical research and problem-solving

The cap set problem, a fundamental challenge in additive combinatorics, seeks the maximum size of a set in $(\mathbb{Z}/3\mathbb{Z})^n$ with no three-term arithmetic progressions. This thesis explores the efficacy of computational search algorithms in constructing large cap sets, with a particular focus on the role of domain-specific knowledge. In particular, we compare Google's FunSearch algorithm, an LLM-based method providing interpretable results, and the PatternBoost evolutionary algorithm, based on classical machine learning methods.

Our results demonstrate that a direct application of PatternBoost, which has no published application onto problems of this type, to the well-understood case of $(\mathbb{Z}/3\mathbb{Z})^5$ did not reach the optimal construction. However, by introducing a canonicalization procedure for set representations, a problem-specific insight, the algorithm successfully rediscovers the known maximum-sized cap set of 45. This case study highlights how general-purpose search heuristics benefit from problem-specific insights, and further discusses methodologies for integrating such knowledge and contrasts this approach with emerging LLM-based techniques like FunSearch.

Finally, we extend our approach to similar problems, progression-free sets in $(\mathbb{Z}/p\mathbb{Z})^n$. One of the smallest open questions is $(\mathbb{Z}/5\mathbb{Z})^4$, on which we test the algorithms, and present preliminary findings from this ongoing investigation.

NUKLEÁRIS TECHNIKA

Várkonyi Zsófia Julianna

Természettudományi Kar

Nukleáris Technikai Intézet

Atomerőművi tranziens szimulációkhoz fejlesztett végelelem- módszeren alapuló reaktorfizikai kód benchmark alapú verifikációja

A reaktorfizikai számítások pontos elvégzése kulcsfontosságú a biztonságos reaktortervezés és üzemeltetés szempontjából. Ezen számítások elvégzésére számos kód áll rendelkezésre, melyek egy része determinisztikus módszerekkel, más része sztochasztikus megközelítéssel dolgozik. Konzulensem doktori képzése alatt kifejlesztette az SPNDYN nevű determinisztikus kódot, amely diffúziós és SP3 közelítést egyaránt képes alkalmazni.

Kutatásunk során az előbbi kód diffúziós moduljával dolgozva az AER (Atomic Energy Research) által kiírt első, majd második dinamikus benchmark feladatokat elvégzését céloztuk meg. A két feladat keretein belül egy VVER-440-es reaktorban történő aszimmetrikus szabályozókazetta kilökődés rövid tranziensének modellezése a cél visszacsatolás nélkül, illetve adiabatikus Doppler visszacsatolás figyelembevételével.

Az első feladat már korábban egy másik hallgató által elvégzésre került, azonban a kapott eredmények további pontosítást igényeltek. Ez kiemelten fontos, mivel az egymásra épülő benchmarkok közül ez az egyetlen, amely tisztán reaktorfizikai számításokat igényel, a többihez különböző komplexitású termohidraulikai modell csatolása szükséges. A feladat előzetes eredményei rámutattak arra, hogy a szabályozókazetta mozgathatóságkor virtuális teljesítménycsúcsok jelennek meg, ez az úgynevezett rod cusping jelenség. A probléma a determinisztikus reaktorfizikai kódok sajátossága, így kezelésére számos módszer került kidolgozásra. Ezek közül a térfogattal súlyozás módszere került korábban implementálásra, a jelen kutatás során pedig egy bonyolultabb módszer, a fluxusintegrállal való súlyozás módszere került kidolgozásra.

A második feladatban a gyors mechanizmusú Doppler effektusnak köszönhetően nem volt szükség SCRAM-re, ezáltal elegendő volt a tranziens első két másodpercének szimulálása. Ehhez a feladathoz nem tartoznak korábbi eredmények az SPNDYN vonatkozásában, itt a fő kihívást az adiabatikus termohidraulikai modell kidolgozása jelentette.

Mindkét feladatban kapott eredmények összehasonlításra kerültek az AER weboldalán megtalálható referenciákkal, illetve a szakirodalomban elérhető további eredményekkel.

Várkonyi Zsófia Julianna

Természettudományi Kar

Nukleáris Technikai Intézet

Atomerőművi tranziens szimulációkhoz fejlesztett csatolt reaktorfizikai és termohidraulikai kódrendszer benchmark alapú verifikációja II.

A reaktorfizikai számítások pontos elvégzése kulcsfontosságú a biztonságos reaktortervezés és üzemeltetés szempontjából. Ezen számítások elvégzésére számos kód áll rendelkezésre, melyek egy része determinisztikus módszerekkel, más része sztochasztikus megközelítéssel dolgozik. Konzulensem, Dr. Babcsány Boglárka doktori képzése alatt kifejlesztette az SPNDYN nevű determinisztikus kódot, amely diffúziós és SP3 közelítést egyaránt képes alkalmazni.

Kutatásunk során az említett kód diffúziós moduljával dolgozva az AER (Atomic Energy Research) által kiírt harmadik dinamikus benchmark feladat modellezését tűztük ki célul. A feladat keretén belül egy paksi típusú, azaz VVER-440-es reaktorban történő aszimmetrikus szabályozókazetta-kilökődés rövid tranziensének modellezése a cél SPNDYN-Apros csatolt reaktorfizikai és termohidraulikai szimulációk segítségével.

A feladat során az üzemanyag felmelegedéséből, valamint a hűtőközeg sűrűségének változásából származó visszacsatolások modellezése szükséges, mivel ezek alapvető szerepet játszanak a reaktor önszabályozásában és a láncreakció leállításában. A benchmarkfeladat végrehajtása során kiemelt feladat a sűrűségváltozásból eredő visszacsatolás implementálása. Emellett fontos a két kód közötti kommunikáció megbízható és stabil működésének kialakítása és finomhangolása. A termohidraulikai modell fejlesztését egy másik hallgató végzi.

Fekete Dezső Domonkos

Természettudományi Kar

Atomenergetika Tanszék

Kis- és mikro-moduláris reaktorok kapcsolt hő-, villamos energia és hidrogén energiarendszerbe való integrációjának modellezése nyílt hozzáférésű adatok és modellek felhasználásával

Az utóbbi években a megújuló energiaforrások és a jelenleg épülő nagy (1000 MWe villamos teljesítmény fölötti) 3. és 3+ generációs reaktorok mellett egyre nagyobb figyelem irányul a kis moduláris atomreaktorokra (SMR-ekre), amelyek az energiarendszerben rugalmassággal, rövidebb kivitelezési idővel és kisebb tőkeköltséggel kecsegtetnek. A világ számos országában terveznek SMR-ekkel: Kínában már üzemel gázhűtésű magas hőmérsékletű SMR, Oroszországban kivitelezés alatt áll egy ólomhűtésű reaktor, míg ipari szereplők - például a Google - is vizsgálják a technológia alkalmazását. Magyarországon az MVM Csoport hosszú távú stratégiájában is szerepel egy SMR építése 2035-ig, továbbá megállapodás született a GE-Hitachi által fejlesztett forralóvizes BWRX-300 reaktorkonceptió hazai alkalmazásának előkészítésére.

Az SMR-ek esetében kiemelt szerepe lehet a kapcsolt energiatermelésnek, mivel segítségükkel a villamosenergia-termelés mellett a távhő- és hidrogénsetektor dekarbonizációja is megvalósítható, magas hatásfok mellett. EKÖP kutatásom során távhő-, hidrogén- és villamosenergia-termelésre alkalmas, trigenerációs üzemmódban működő SMR-ek rendszerszintű vizsgálatát végeztem el, a BWRX-300 paraméterei alapján.

A kutatás során felépítettem Magyarország településszintű távhőmodelljét, megalkottam egy módszertant a hazai hidrogénvölgyek modellezésére, valamint elkészítettem a magyar villamosenergia-rendszer optimalizációs modelljét Python programozási nyelven, a PyPSA programcsomag alkalmazásával. A modellezést 8760 órás időfelbontással, teljes éves költségminimalizáló optimalizációval végeztem, amely lehetővé tette a napi és szezonális ingadozások figyelembevételét. A kutatás újdonsága a városszintű távhőrendszer, az országos villamosenergia-rendszer és a regionális hidrogénrendszer integrált, egységes modellkeretben történő vizsgálata.

Az elemzés során különböző forgatókönyveket értékeltem, vizsgálva az SMR telepítésének rendszerszintű és gazdasági hatásait, valamint a piaci árakra és a bevételekre gyakorolt hatását. Eredményeim alapján Magyarországon Budapesten, Debrecenben és Dunaújvárosban lehet érdemes távhőtermelésre is alkalmas SMR telepítése. Az eredmények arra is rámutatnak, hogy a hidrogénsetektor jelentős rugalmassági és dekarbonizációs potenciált kínál a jövő energiapiacain.

Boros Máté István

Természettudományi Kar

Nukleáris Technikai Tanszék

Neutronzaj-módszerek kidolgozása a reaktormag jobb jellemzése és megfigyelése érdekében

A neutronzaj módszerek sokszorozó rendszerek α prompt lecsengési állandójának meghatározásán keresztül reaktorkinetikai paraméterek (reaktivitás, effektív későneutron-hányad, generációs idő) mérésére alkalmasak. Hagyományosan ezen módszerekhez a detektorok impulzusüzemben használatosak. Nagy beütésszám esetén, a detektorjelben az impulzusok egymásra halmozódása egy holtidő-hatáshoz vezet, ami behatárolja a módszerek használhatóságát. Az ötlet a probléma megoldására impulzusszámlálás helyett a detektorok folytonos feszültségjelének használata, mellyel inherens módon elkerülhető a pile-up miatti holtidő okozta probléma.

A kutatás célja a folytonos detektorjel használatán keresztül zajmódszerek alkalmazhatóvá tétele a hagyományos módszer lehetőségeinél nagyobb beütésszám és gyorsabb α -érték mellett, a sokszorozó rendszer magasabb rendű kinetikai módusaihoz tartozó α -érték meghatározására, illetve reaktivitás valós idejű monitorozására szubkritikus és kritikus rendszerekben. A folytonos feszültségjel felvétele lehetőséget ad különböző jelfeldolgozási technikák használatára, pl. az impulzusalak-dekonvolúcióra.

A folytonos jel gyakorlati alkalmazhatóságának lehetőségeit szimulációk és mérések segítségével vizsgáltuk, ígéretes eredményekkel. Friss kutatási eredmény a kevert neutron-gamma foton detektáláshoz tartozó Feynman- α formulák levezetése, melynek eredményei alapján gamma-érzékeny neutrontetektorok (pl. ^3He , szcintillációs detektorok), vagy akár tiszta gamma-detektorok is alkalmasak lehetnek kinetikai paraméterek mérésére zajmódszerekkel. Ezek nagy előnye az eddig alkalmazott hasadási kamrákkal szemben a sokkal nagyobb belső detektálási hatásfok, mellyel rövidebb mérési idő alatt pontosabb eredmények érhetők el, ami elengedhetetlen a módszer valós idejű monitorozásra való alkalmazhatóságához.

Gazdag-Hegyesi Szilvia

Természettudományi Kar

Nukleáris Technikai Intézet

Orvosi képalkotó berendezések képminőségi és dozimetriai elemzése

A vizsgálat célja a cone-beam CT (CBCT) alapú kezeléstervezés megvalósíthatóságának és dozimetriai megbízhatóságának értékelése tüdő sztereotaxiás sugárkezelés (SBRT) esetén. Az SBRT nagy biológiai effektív dózisú kezelési technika, amelynek hatékonysága nagymértékben függ a céltérfogat pontos meghatározásától és a környező egészséges szövetek kíméletétől. Vizsgálatunk során három különböző CBCT rendszert hasonlítottunk össze, elemelve a dóziseloszlás, a monitoregységek és a ténylegesen leadott dózis különbségeit, valamint a légzőmozgás hatását. Célunk annak meghatározása volt, hogy kis térfogatú tüdőtumorkok esetén a CBCT-alapú kezeléstervezés milyen pontossággal alkalmazható a klinikai gyakorlatban.

Egy 4D CIRS dinamikus mellkas fantom segítségével a tumor mozgását hat különböző reguláris és irreguláris légzési mintával szimuláltuk. A fantom 2 cm átmérőjű inzertje biztosította a makroszkópos tumortérfogatot (GTV), melyeket a klinikai gyakorlatban alkalmazott margók alkalmazásával terjesztettünk ki a tervezési céltérfogattá (PTV). A kezelési terveket a tíz fázisú tervezési CT átlag (AVE) és maximum intenzitás projekciós (MIP) CT képkészletekeire, valamint három különböző lineáris gyorsító CBCT felvételeire készültek (Varian TrueBeam- hagyományos CBCT, Varian TrueBeam- HyperSight, Varian Ethos- O-ring CBCT). A tervezés minden esetben azonos paraméterekkel történt. A kiértékelés során a céltérfogatok dozimetriai paramétereit, a tervek és besugárzási mezők monitoregységeit (MU), valamint az abszolút ionkamrás dózismérések eredményeit hasonlítottuk össze.

A CBCT-alapú tervek minden esetben magasabb MU értékeket igényeltek, átlagosan 155 MU növekedés látható az AVE és 187 MU a MIP tervekhez képest. A legnagyobb relatív eltérés a hagyományos TrueBeam CBCT esetén jelentkezett (reguláris légzés esetén ~27%). A GTV minimális dózisa minden CBCT-alapú terv esetén alacsonyabb volt, azonban HyperSight alkalmazásával az eltérés <0.5% maradt az AVE CT-hez képest. A GTV átlagdózisok minden konfigurációban $\pm 1.5\%$ -on belül maradtak, homogén dóziseloszlást mutatva.

Az abszolút mérések során a legnagyobb eltérések ~6% a hagyományos CBCT esetében jelentkeztek, míg Ethosnál <3% volt az eltérés. A legkisebb különbségeket HyperSight esetén láthatunk ~1.5%-kal, mely eltérések az AVE CT-alapú tervek pontosságával összemérhetők. A légzőmozgás típusa nem befolyásolta szignifikánsan a leadott dózist, amennyiben az amplitúdó változatlan maradt.

A CBCT-alapú kezeléstervezés megvalósítható jó lokalizálhatósági paraméterekkel rendelkező léziók tüdő SBRT kezelése esetén, azonban a tervezőrendszerben látott és a mért dózis egyezése jelentősen függ a képalkotó rendszertől. A HyperSight CBCT kiemelkedő dozimetriai teljesítményt mutatott, amely alkalmassá teheti a szintetikus és tervezési CT képkészlet nélküli, CBCT-alapú besugárzástervezésre. Az eredmények alapot teremtenek további valós betegeken végzett retrospektív klinikai vizsgálatok kezdeményezéséhez.

Pázmán Előd

Természettudományi Kar

Nukleáris Technikai Intézet

A GUARDYAN rendszer optimalizálása atomerőművekben való felhasználásra

A GUARDYAN egy a BME TTK Nukleáris Technikai Intézetben fejlesztett GPU alapú, direkt időfüggésű és folytonos energiakezelésű 3D Monte Carlo neutron transzport kód, ami mind kis méretű (Oktatóreaktor), mind nagy méretű (Paksi VVER-440 reaktor) rendszerekből származó mérési eredményekkel validálva lett. A kód rendeltetése gyors reaktor tranziensek valóságghű szimulációja, ezért ahhoz csatolva lett a SUBCHANFLOW szubcsatorna szintű termohidraulikai megoldó, így a hőmérsékleti visszacsatolások is modellezhetőek, a tradicionális reaktorfizikai kódoknál szignifikánsan nagyobb felbontásban. Az előadásban bemutatásra kerülnek a GUARDYAN-SUBCHANFLOW csatolt kódrendszerrel SMR modellen szimulált szabályozórúd kilökődéses üzemzavarok eredményei. Ezek az eredmények a várakozásoknak megfeleltek, ahol rendelkezésre állt más kódokkal kapott adat, jó egyezést mutattak. A Monte Carlo kódok egy jelentős felhasználási területe a determinisztikus kódok számára történő csoportállandók (homogenizált hatáskeresztmetszetek) generálása. Ehhez a legtöbb elterjedt Monte Carlo kód a fluxussal vett súlyozás módszerét alkalmazza, ami a konkrét csoportállandótól függően nem feltétlenül a matematikailag helyes választás. A GUARDYAN képes a lényegesebb csoportállandók becslésére, melyek az iparban bevett kódokkal kapott eredményekkel jó egyezést mutatnak. Ezen kívül két módszert fejlesztettünk a neutron fluxus gradienének becslésére, a módszerek kiválóan követték az analitikus megoldásokat egy 1D transzport modellben és a GUARDYAN-ba implementálva a várakozásoknak megfelelő eredményeket kaptunk.

PSZICHOLÓGIAI TUDOMÁNYOK

Lukics Krisztina Sára

Természettudományi Kar

Kognitív Tudományi Tanszék

Hogyan épül fel a nyelvtan? A nyelvi komplexitás és a kognitív fejlődés hatása a nyelvtani absztrakcióra

Mitől lesz valaki sikeres egy idegen nyelv elsajátításában? A kutatás ennek a kérdésnek a megválaszolására egy többéves projekt első lépéseként egy nyelvtanulást modellező mesterséges nyelvtanulási paradigma kialakítására fókuszált. Bár a nyelvtanulás természetes környezetben is vizsgálható, a laboratóriumi, kontrollált feltételek lehetővé teszik a tanulási folyamatok pontosabb megragadását és összehasonlíthatóságát.

A korábbi mesterséges nyelvi paradigmák gyakran korlátozott komplexitásúak, valamint rövid, izolált tanulási szakaszokra épülnek, ami megnehezíti a nyelv elsajátításának részletes vizsgálatát. A jelen kutatásban fejlesztett paradigma a Brocanto (Friederici et al., 2002) nyelvre épül és egy komplex nyelvi környezetet alkalmaz, amelyben a résztvevők több, egymásra épülő szekción keresztül sajátítják el a nyelv szókincsét és nyelvtani szerkezetét. A tanulás aktív interakció során zajlik és többféle feladattípus (pl. passzív expozíció, megértési és produkciós feladatok, ismerősségi és nyelvhelyességi ítéletek) kombinációjára épül. A paradigma egyik fő újdonsága, hogy a korábbi feladatokhoz képest lehetővé teszi a szókincs elsajátításának, a nyelvtani szabályok generalizációjának és a felszíni mintázatokhoz kötődő tanulásnak az elkülönített vizsgálatát, valamint a tanulási folyamat finom, próbáról próbára történő modellezését.

A 2025/2026-os tanév során a kutatás fő eredménye a webalapú paradigma teljes körű kidolgozása és implementálása volt. A feladatot felnőtt mintán pilot vizsgálatban teszteltük. A hosszabb távú kutatási cél annak feltárása, hogy az életkor, a különböző kognitív funkciók és az anyanyelvi képességek miként járulnak hozzá a második nyelv elsajátításában megfigyelhető egyéni különbségekhez. A bemutatott paradigma egy lépést jelent egy olyan rugalmas és kiterjeszthető kísérleti eszköz felé, amely lehetővé teszi komplex nyelvi rendszerek tanulásának vizsgálatát kontrollált laboratóriumi körülmények között.

Ugrin Bálint József

Természettudományi Kar

Kognitív Tudományi Tanszék

Egyéni különbségek mérése a nyelvi képességekben

A kognitív képességek vizsgálatában kiemelt szerepet játszik az emberek közötti egyéni különbségek feltérképezése. Az anyanyelvi képességek tekintetében is egyre nagyobb teret kap ez a fajta megközelítés, mivel egyéni variabilitást korábban csak a mentális lexikon (szókincs) esetében feltételeztek a kutatók a klasszikus pszicholingvisztikai elméleteket követve.

Célom, hogy a szókincsen kívül a nyelv magasabb szintjein is kimutassam, hogy konzisztens egyéni különbségek feltételezhetők az anyanyelvi beszélők körében, mely nem korlátozódik a gyerekkori nyelvelsajátításra és az atipikus beszélőkre. Feltételezem, hogy a beszélői variabilitás mögött jelentős részben a grammatikai szenzitivitás áll, mely azt a képességet írja le, hogy mennyire érzékenyek az emberek a nyelvben található gyakoriságon és prediktálhatóságon alapuló összefüggésekre.

Kutatásomban szövegkorpuszból származó adatokat és viselkedéses vizsgálati eljárásokat adaptálva (kényszerválasztásos feladat, reakcióidő-mérés) különböző kísérleti paradigmákat hoztam létre, melyekkel összehasonlíthatóvá válnak a beszélők teljesítményei a szókincs, többszavas kifejezések és mondat szerkezetek területén. A többszavas kifejezéseket (kollokációkat) vizsgálva szisztematikus különbségeket lehetett kimutatni annak mentén, hogy ki mennyire ismeri fel a természetes és bevett kifejezéseket a hasonló jelentésű, de kevésbé természetes kifejezésekkel szemben. Magasabb nyelvi szinteken pedig mondatprodukciós kísérlettel vizsgáltuk, hogy az anyanyelvi beszélők szisztematikus módon különböznek abban, hogy mennyire képesek a szövegkörnyezethez leginkább illeszkedő mondat szerkezetek kiválasztására (tárgyas mondatok, mondat határozók és főnévi szerkezetek esetében). Mondatfeldolgozást mérő kísérlettel pedig igazoltuk, hogy a beszélők reakcióideje szisztematikus módon különbözik egymástól prediktálható mondat szerkezetek olvasásakor kontrollálva a baseline feldolgozási sebességre, mely arra enged következtetni, hogy a beszélők különböznek az anyanyelvi tudás, ez esetben a mondat szerkezetek mentális reprezentációinak erősségében.

Eredményeim arra engednek következtetni, hogy az anyanyelvi beszélők esetében az anyanyelv feldolgozása egyéni különbségekkel jár együtt, mely nem csak egyedi, specifikus nyelvi egységekhez kapcsolódó különbségekből ered (pl. bizonyos kifejezések ismerete), hanem a nyelven átívelő, általánosítható képességként is megragadható. Kutatásom alkalmazott célja ezen felül, hogy olyan képességmérési eljárásokat dolgozzak ki, melyek a nyelvi ingeranyagokon végzett vizsgálatok (pl. diagnosztikai eljárások) innovációját segíti a magasabb nyelvi szinteken.

Szeberényi Noémi Petra

Természettudományi Kar

Kognitív Tudományi Tanszék

A metapragmatikai és tudatelméleti tréning irónia értésre gyakorolt hatása neurotipikus és autizmus spektrum zavarban érintett gyermekek esetében

Fejleszthető-e a tudatelmélet autizmus spektrum zavarban érintett gyermekek esetében?

A tudatelmélet (ToM), vagyis a képesség, hogy másoknak mentális állapotokat és szándékokat tulajdonítsunk, döntő szerepet játszik a társadalmi megértésben és kommunikációban. Az autizmus spektrum zavarral (ASD) élő gyermekeknek gyakran sérül és nehézségeik vannak ezekkel a képességekkel, ami hatással lehet a társadalmi interakcióikra és megnehezítheti a mindennapi életüket is. A jelen kutatás egy ToM tréning hatását vizsgálta a verbálisan és vizuálisan megjelenő társadalmi jelek megértésére. Azt vizsgáltuk, hogy ez a fejlesztő program hogyan befolyásolja a gyermekek ToM képességeit, amelyeket a szövegértésre épülő Strange Stories és a minimális nyelvi tudást feltételező Yoni tesztekkel mértünk. A tanulmányban tipikus intellektuális működéssel rendelkező, ASD-vel diagnosztizált alsó tagozatos általános iskolás gyermekek vettek részt. Egy kísérleti és egy aktív kontrollcsoportot hoztunk létre. Mindkét program 4 egymástkövető héten át 6 foglalkozásból állt, valamint egy további utánkövetési alkalomból. Először a kiindulási képességeket mértük fel, majd a tréning következett, ami után elvégeztük az utótesztelést. Végül 2 hónappal később utánkövetési mérést végeztünk. A kísérleti csoport egy ToM fejlesztésen vett részt, ami háromszor heti 1 alkalomból állt és 4 rövid mentális állapotra vonatkozó történetet tartalmazott, amit a szereplők szándékaival kapcsolatos nyitott kérdéseket követtek. Az aktív kontrollcsoport szintén részt vett 3 foglalkozáson, de ők nem mentális, hanem fizikai következtetéseket tartalmazó történeteket hallottak, majd tényekre vonatkozó kérdéseket válaszoltak meg. Ugyanazok a történetek ismétlődtek az összes foglalkozáson, de a kísérletvezető által nyújtott segítség és magyarázat szintje fokozatosan csökkent. Az eredmények alapján a fejlesztőprogram után mindkét csoport javulást mutatott a Yoni teszten, míg a Strange Stories teszten nem volt változás a teljesítményben. Eredményeink azt mutatják, hogy egyszerűen az inferenciális képességek fejlesztése támogatja a mentalizációt, de csak nyelvileg nem komplex feladatok esetében. Javasoljuk, hogy a ToM-ot ne egyetlen képességnek, hanem sokoldalú konstrukciónak tekintsük, amely magába foglalja a nyelvi készségek, a következtető képességek és a mentalizáció kölcsönhatását. Ezek a komponensek együttesen teszik lehetővé mások gondolatainak pontos értelmezését.

Kiss Eszter Ágnes

Természettudományi Kar

Kognitív Tudományi Tanszék

Időskori kognitív változások vizsgálata pupillometriai eljárások segítségével

Idősödés során kognitív hanyatlás jelenhet meg, amely magába foglalja az emlékezet, a figyelem és a végrehajtó funkciók működésének csökkenését. A locus coeruleus-noradrenerg (LC-NA) rendszer meghatározó szerepet játszik a gondolkodási folyamatok megfelelő működésében és diszfunkciója kapcsolatban áll a kóros kognitív hanyatlással. A pupillaméret változása utalhat az LC-NA rendszer működési zavarára, azonban a pupilladilatáció és a kognitív hanyatlás kapcsolatára vonatkozó kutatási eredmények ellentmondásosak. Ennek oka lehet, hogy a kognitív erőfeszítés, mint zavaró tényező, elfedheti az LC-NA rendszer deficitjét. Kutatásunkban azt vizsgáltuk, hogy megfigyelhetők-e életkorral összefüggő különbségek olyan feladatok esetében, amelyek eltérő mértékben támaszkodnak a kognitív kontrollfolyamatokra. Ennek érdekében idős és fiatal felnőtt vizsgálati személyek pupillaválaszait hasonlítottuk össze egy n-back feladat, valamint egy auditory detection nevű feladat során. Az n-back feladat a munkamemória-teljesítményt méri, melyben a vizsgálati személyeknek jelezniük kellett, ha az éppen hallott szám megegyezett a kettővel korábban hallottal. Az auditory detection feladat az automatikus és kontrollált figyelmi folyamatokat vizsgálta, amelyben két irányból érkező, eltérő hangmagasságú hangokra kellett figyelni. A résztvevőknek a hang irányára kellett koncentrálniuk, miközben változások a nem figyelt ingerdimenzióban is történtek. Eredményeink szerint az idős vizsgálati személyeknél csökkent pupillaválasz volt megfigyelhető az n-back feladat során, illetve a finom auditív változások észlelésekor. Ezzel szemben nem mutatkozott különbség a két csoport pupillaválasza között a szális auditív változások esetében. Eredményeink arra utalnak, hogy a korcsoportok között megfigyelhető pupilladilatációs különbségek a feladat követelményeivel állnak összefüggésben. Ezek a szelektív károsodási mintázatok betekintést nyújthatnak a háttérben álló idegrendszeri mechanizmusokba.

Makai Míra

Természettudományi Kar

Kognitív Tudományi Tanszék

“Csak semmi pánik!” - avagy az autogén tréning hatása egyetemisták érzelmi profiljára, teljesítményszorongására

Doktori kutatásom jelenlegi fókusza a vezetésfejlesztés digitális kontextusban történő vizsgálata, különös tekintettel egy mesterséges intelligencián alapuló coaching eszköz (Nadia AI Coach) pszichológiai hatásaira. A kutatás célja annak exploratív feltárása, hogy az AI coach rendszeres használata milyen összefüggésben áll a vezetők rezilienciájának, megküzdési stratégiáinak és önreflexiók szintjének alakulásával egy vállalati pilotprogram keretében.

A vizsgálat longitudinális elrendezésben valósul meg, kvantitatív és kvalitatív elemek kombinálásával. A kérdőíves adatfelvétel két időpontban (baseline és utánkövetés) történik validált mérőeszközök alkalmazásával (CD-RISC-10, Brief COPE rövidített változat, Self-Reflection and Insight Scale). A kvantitatív adatokat strukturált interjúk és fókuszcsoportos beszélgetések egészítik ki, amelyek célja a digitális coaching szubjektív élményének és vezetői percepciójának mélyebb megértése. A kontrollcsoport bevonásának lehetősége jelenleg vizsgálat alatt áll, a végleges kutatási design az etikai elbírálást követően kerül rögzítésre.

A kutatás jelenlegi szakaszában a mérőeszköz-batteria véglegesítésre került, az online adatfelvételi platform elkészült, az informált beleegyezési és adatvédelmi dokumentáció összeállítása megtörtént. Az etikai engedélykérelem benyújtásra került, jelenleg elbírálás alatt áll. A vállalati együttműködés biztosított, a résztvevők toborzásának előkészítése folyamatban van.

A következő lépések közé tartozik az etikai jóváhagyás megszerzése, a baseline adatfelvétel elindítása, valamint a pilotidőszak alatti kvalitatív adatgyűjtés lebonyolítása. A kutatás várható eredményei hozzájárulhatnak az AI-alapú vezetésfejlesztési eszközök pszichológiai megalapozottságának és gyakorlati alkalmazhatóságának mélyebb megértéséhez, empirikus adatot szolgáltatva egy jelenleg dinamikusan fejlődő, de tudományosan még alulreprezentált területen.

VEGYÉSZMÉRNÖKI ÉS BIOMÉRNÖKI KAR
FIZIKAI KÉMIA ÉS ANYAGTUDOMÁNYOK

Borbás Balázs

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

Erbiumadalékolt felkonvertáló nanorészecskék emissziós és energiaátadási folyamatainak vizsgálata kompozit bevonatban

A felkonvertáló nanorészecskék képesek kis energiájú (közeli infravörös tartományú) gerjesztés hatására (több foton egymást követő elnyelése révén) a gerjesztő sugárzásnál nagyobb energiájú (UV és látható tartományú) foton emissziójára, ez az ún. anti-Stokes emisszió. Az így keletkező nagyobb energiájú elektromágneses sugárzás számos területen hasznosítható lehet. Ezek közé tartozik többek között a fotodinámiás rákterápiában való alkalmazás, valamint a fotovoltaiikus eszközök, fényforrások és érintkezésmentes, optikai szenzorok fejlesztése.

Fő célkitűzésem erbium aktiváló iont és itterbium érzékenyítő iont tartalmazó felkonvertáló nanorészecskék szolvotermális módszerrel történő előállítása, kompozit bevonatokban való beágyazása, valamint a kialakított bevonatrendszer optikai és felületi vizsgálata volt. Az előállított NaYF₄: Yb³⁺, Er³⁺ nanorészecskék felhasználásával olyan funkcionális, kitozán biopolimer alapú kompozit vékonyrétegeket alakítottam ki, amelyekben a felkonvertáló nanorészecskékre jellemző anti-Stokes emissziók intenzitása a részecskék szuszpenziókban mérhető intenzitásával összemérhető. Céлом volt továbbá többalkotós beágyazó közeget tartalmazó, különböző kismolekulák számára átjárható, környezetbarát, biopolimer bevonatok kialakítása, ahol a mátrixanyagok emisszióra és bevonat szerkezetére gyakorolt hatását is tanulmányoztam. A beágyazó közeg összetételét, a bevonatképzés paramétereit a NaYF₄: Yb³⁺, Er³⁺ nanorészecskék felkonvertáló emissziós intenzitásának maximalizálása érdekében szabályoztam. Az előállított nanorészecskéket elektronmikroszkóppal és röntgen-diffrakció segítségével vizsgáltam. A kompozit bevonatok összetételét és szerkezetét elektronmikroszkópiai és ellipszometriai vizsgálatok segítségével jellemeztem.

A felhasználás szempontjából különösen fontos a nanorészecskék valamely más speciesszel való energiaátadásának tanulmányozása: A felkonvertáló nanorészecskék képesek sugárzási kölcsönhatást kialakítani Rodamin B fluoreszcens modellszínezékekkel. A kialakított kompozit bevonatokban előforduló sugárzási kölcsönhatás számos potenciális szenzorikai alkalmazás alapköve lehet, ezért kutatásom során a modellszínezékekkel való energiaátadást szuszpenzióban és bevonatban egyaránt tanulmányoztam.

Kiss Etelka

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

Fluoreszcens próbák fejlesztése (Development of fluorescent probes)

A kétfoton(2P)-mikroszkópia 3D fluoreszcens képalkotást tesz lehetővé akár vastag biológiai mintákban is az élő szövetek károsítása nélkül. A modern 2P-mikroszkópok rendkívüli szkennelési sebességgel és kiváló térbeli felbontással tudják követni az idegrendszeri folyamatokat, így a 2P-mikroszkópia a neurobiológiai kutatások elengedhetetlen eszközévé vált és egyre közelebb jár a technika a potenciális humándagnosztikai alkalmazáshoz is.

Ingerületátvitel során az akciós potenciál elérésekor megnyílnak a Ca^{2+} -ioncsatornák, amely a Ca^{2+} beáramlását és koncentrációjának kb. százszorosára emelkedését eredményezi az intracelluláris térben. Ca^{2+} -próbákat használva akár élő sejtekben követhető a neuronok aktivitása. A leginkább bevált stratégia a Ca^{2+} -szelektív kelátképző BAPTA-ionofór összekötése a fluorofór vázzal úgy, hogy a komplexképzés a fluoreszcencia intenzitás megváltozásához vezessen. Több, piaci forgalomban is kapható Ca^{2+} -szenzor létezik, viszont a legtöbb ilyen vegyület akciós 2P-keresztmetszete alacsony, kifejezetten 2P-mikroszkópiás alkalmazásra pedig kevés próbát fejlesztettek.

Kutatómunkám első szakaszának célja élő idegsejtekben alkalmazható Ca^{2+} -szelektív 2P-próba fejlesztése. A tervezett próbák a Ca^{2+} -felismerő BAPTA ionofórt építik egybe a vállalati szakértő által korábban fejlesztett új, előnyös fotofizikai és 2P-abszorpciós tulajdonságokkal rendelkező fluorofórral.

A félév során módszert dolgoztam ki a Ca^{2+} disszociációs állandójának meghatározására, amelyet piaci forgalomban kapható Ca^{2+} -próbákkal validáltam. Irodalmilag ismert Ca^{2+} próbák szintézisét valósítottam meg és tettem elérhetővé a biológus kollégák számára. Ezzel a BAPTA-ionofort tartalmazó Ca^{2+} -próbák előállításának alapttechnikáit is elsajátítottam. Előállítottam két új, a csoport által fejlesztett új, előnyös tulajdonságú fluorofórt tartalmazó Ca^{2+} próbát, a célvegyületeket szabad savként izoláltam. Az előállított új intermedierek és célvegyületek szerkezetét HPLC-MS és NMR spektroszkópiával igazoltam, ezek fotofizikai tulajdonságait jellemeztem.

Bors Adrienn

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

Funkcionális szol-gél bevonatok fejlesztése

Kutatómunkám során többfunkciós mezopórusos titán-dioxid (TiO_2) bevonatokat állítottam elő szol-gél eljárással, amelyek egyaránt növelik transzparens (üveg) hordozójuk fényáteresztését és fotokatalitikus tulajdonságuk révén képesek különböző szerves szennyezőanyagok lebontására. A fényáteresztés növeléséhez a pórusképző anyagot tartalmazó bevonatokat ammóniatartalmú vízgőz-atmoszférában utólagosan öregítettem, amely során a pórusképző anyag átrendeződésével, pseudomorf transzformáció révén a bevonat porozitása megnövekedett. A fotokatalitikus hatékonyság növelése végett a bevonatokat ezüsttel adalékoltam, amely UV-fény besugárzás hatására növeli a fotokatalízis hatékonyságát, emellett kiterjeszti a TiO_2 fotokatalitikus hatását a látható hullámhossz-tartományba. A bevonatok optikai tulajdonságait UV-látható spektrofotometriával és ellipszometria-porozimetriával (EP) határoztam meg. A pórusszerkezetet EP-vel és transzmissziós elektronmikroszkópiával (TEM), a kristályszerkezetet röntgen pordiffrakcióval (XRD) vizsgáltam. A bevonatok fotokatalitikus hatását színezékbontással tanulmányoztam UV-, illetve látható fényű besugárzásával mellett különböző (rodamin 6G és metilénkék) színezékoldatokban, valamint szilárd-levegő határfelületen színezékekkel impregnált bevonatokon. A fotodegradációt a színezékek UV-látható spektrofotometriával felvett abszorbanációjának csökkenésével mértem. Emellett kísérleteket végeztem a bevonatok tulajdonságainak optimalizálására az előállítási paraméterek változtatásával, amely során sikeresen optimalizáltam a bevonatokat fényáteresztés szempontjából. Ezen felül szimulációs kísérleteket is végeztem a prekurzorszol előállítása során lejátszódó folyamatok feltárása céljából reaktív erőter alapú (ReaxFF) molekuladinamikával.

Koncz Medárd

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

A kémiaileg lebontott műanyagok szerkezet-tulajdonság összefüggéseinek modellezése

A tömegműanyagok feldolgozási technológiái közül kiemelkedő jelentőséggel bír az extrúzió és a fröccsöntés. Mind a két technológia során az anyagot magas hőmérsékleten nagy mértékű nyírás éri, gyakran oxigén jelenlétében. Ezek a hatások gyakran különböző alkalmazási területeken is érhetik a műanyagot. Ilyen körülmények között bekövetkezhet a polimer molekulák termikus, illetve termooxidatív degradációja, melynek következménye a polimer szerkezetének módosulása, ami nehézséget okozhat az alkalmazás és a feldolgozás során és megváltozhatnak a termék mechanikai tulajdonságai és termikus stabilitása is. Aggodalomra adhat okot az iparban stabilizátorként nagy mennyiségben alkalmazott szintetikus fenolos antioxidánsok reakciótermékeinek negatív hatása az élő szervezetekre. Ezen túl a műanyagiparban is egyre nő az igény arra, hogy a szintetikus anyagokat természetes, megújuló alternatívával helyettesítsük. A természet bővelkedik olyan növényekben, amelyekben előfordul antioxidáns hatású vegyület, így lehetőség nyílt akár mezőgazdasági hulladék felhasználására is innovatív célokra. A kutatásom célja természetes alapú antioxidánsok kutatása és fejlesztése, illetve természetes alapú polimerek degradációjának vizsgálata. A kutatásomban természetes alapú stabilizátorok alkalmazásának lehetőségeit, hatékonyságát, hatásmechanizmusát és kölcsönhatásait vizsgálom Phillips típusú polietilénben, továbbá vizsgálom természetes alapú polimerek degradációját. Várható több az iparban alkalmazotthoz képest nagyobb hatékonyságú, természetes alapú stabilizátor, illetve stabilizátorrendszer kifejlesztése és a legígéretesebb biopolimer, a politejsav különböző degradációs mechanizmusainak föltérképezése.

Mihalovics Bence

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

Elektrosztatikus szálképzéssel előállított, nyálkahártyához tapadó biopolimer mátrixok

A konvencionális gasztrointesztinális hatóanyag-leadás számos hátránnyal rendelkezik, mint például a hatóanyagok gyors metabolizmusa, illetve kiürülése a szervezetből, az ezekből eredő alacsony biohasznosulás, valamint a kiemelt védelemmel ellátott szervek (szem, központi idegrendszer) vérkeringésen keresztül nehéz elérése. Ezen problémákra megoldást nyújthatnak a mukoadhezív gyógyszerformák, amelyek a szervezet különféle nyálkahártyáival, illetve az abban megtalálható mucin fehérjével kialakított kölcsönhatások révén növelik a készítmény tartózkodási idejét és várhatóan a hatóanyag biohasznosulását. A pályázati munka során várhatóan mukoadhezív kationos és tiol tartalmú poliaszpártamid (PASPAm) származékokat állítok elő, melyek nyálkahártyán tapadó készítmények alapját képezhetik. A kialakuló adhézios erő növelése fontos lehet a megtapadást követően az idő előtti leválás megelőzésére. Ezt a gyógyszerforma fajlagos felületének növelésén keresztül befolyásolhatjuk, amelyet elektrosztatikus szálképzéssel előállított nanoszálal formulákkal érhetünk el. A PASPAm-okat nukleofil szubsztitúciós reakcióval állítom elő, szerkezetüket $^1\text{H-NMR}$ spektrum alapján igazolom. Vizsgálom a polimerek enyhe térhálósításának hatását szálképezhetőségükre, valamint a mátrixok vízdoldhatóságára. A térhálósítást a polimer tiol csoportjainak oxidációjával végzem és ennek lejátszódását oszcillációs reológiai mérésekkel követem, különböző oldószerekben. A polimerek mukoadhezív tulajdonságait mikroszkopikus léptékben mucin diszperzió turbidimetriás titrálásán keresztül vizsgálom. A makroszkopikus mukoadhézió jellemzéséhez mérési elrendezést és módszert fejlesztetek.

Pilter Lilla

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

Gócképzők hatékonyságának mennyiségi modellezése a kristálytani illeszkedésük alapján

Kutatásom célja, hogy mennyiségileg összekapcsoljam a kristályos polimerek gócképző hatású adalékanyagainak hatékonyságát és a mátrix polimerrel való kristályszerkezeti illeszkedését. Ennek megvalósítása lehetőséget teremt arra, hogy egyes polimerekhez a gócképzők tervezése, kiválasztása jóval könnyebb legyen a jelenleg alkalmazott próbálgatásos, teszteléses módszereknél. A támogatott időszak első szemeszterében az elvégzett munkám főképp az izotaktikus polipropilénre (iPP) és annak gócképzőire fókuszált, ugyanis ez az a polimer, amelyben az iparban a legnagyobb mennyiségben alkalmazzák ezeket az adalékanyagokat a tulajdonságok célzott módosítására. Végeztem egy átfogó irodalomkutatást a témában, különös tekintettel az átlátszóságot javító adalékanyagokra, melyek a polipropilén jelenleg használt leghatékonyabb gócképzői. Ezen kutatás eredményeit egy felkérés nyomán egy könyvfejezetben foglaltam össze. Kísérleti munkám során iPP (MOL Petrolkémia Zrt., H649 típusú) modell polimerbe olyan kiválasztott anyagokat kevertem be, amelyeket kristályszerkezeti paramétereket tartalmazó adatbázisokból választottam ki úgy, hogy illeszkedjenek az α -módosulatú iPP kristálytani szerkezetéhez, melynek elemi cella paraméterei: $a=6,65\text{\AA}$, $b=20,96\text{\AA}$, $c=6,50\text{\AA}$. Az anyagokat széles koncentráció tartományban belső keverő segítségével homogenizáltam a polimerrel, majd a kristályosodási jellegzetességeket és az adalékok hatékonyságát differenciális pásztázó kalorimetriás (DSC) és pásztázó optikai mikroszkópiás (POM) mérésekkel minősítettem. A mérési eredményeket összegeztem és a meghatározott kristályosodási csúcshőmérséklet (DSC) értékeket felhasználva meghatároztam az anyagok hatékonyságát. Az így kapott hatékonyság értékeket, illetve a szerkezeti egyezésből meghatározott relatív illeszkedéseket összevetettem és az illeszkedés-hatékonyság összefüggést a két független változóra többszörös nemlineáris regressziós analízis segítségével számszerűsítettem. Így egy olyan egyenletet kaptam eredményül, amelynek segítségével a potenciális gócképző anyagok elemi cella paramétereinek ismeretében a hatékonyságuk becsülhető. Az eredményeimet egy angol nyelvű kéziratban foglaltam össze, emellett készült egy magyar nyelvű, nem lektorált, ismeretterjesztő publikáció is, amely a 2025-ös Műanyag- és Gumiipari Évkönyvben jelent meg. Munkámat egy nemzetközi konferencián (8th Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry) is bemutattam, valamint négy hallgatót mentoráltam konzulensként, akik a kutatócsoportunkban dolgoznak. Közülük ketten ebben a félévben szakdolgozatot készítettek a témában.

Romsics Imre

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

Biopolimer keverékek tulajdonságainak optimalizálása orvosi felhasználás céljából

A polimerek mára a modern anyagtudomány és az ipar meghatározó szereplőivé váltak, jelenlétük az egészségügytől a csomagolóiparon át a járműiparig mindenhol megkerülhetetlen. Az egyre növekvő fenntarthatósági elvárások azonban új irányba terelik a kutatásokat. Előtérbe kerültek a biológiailag lebomló és/vagy megújuló nyersanyagforrásból előállított polimerek, amelyek nemcsak a fosszilis alapú műanyagok fenntartható alternatíváit jelentik, hanem új alkalmazási területek - például felszívódó implantátumok - számára is ígéretesek.

A politejsav (PLA) biokompatibilis és biodegradálható, ugyanakkor a nagy merevsége és alacsony ütéstállósága miatt önmagában nem használható implantátumok előállításához. A merevség csökkenthető, ha a polimert egy kisebb merevségű elasztomerrel társítjuk. A PLA egyik leggyakoribb társítóanyaga a poli(butilén-adipát-co-tereftalát) (PBAT), amely bár csökkenti a PLA merevségét, de a keverékben kialakuló bonyolult szerkezet és a komponensek közötti gyenge kölcsönhatások miatt más tulajdonságok romlását eredményezi. Emiatt különösen fontos a polimer keverékek szerkezet-tulajdonság összefüggéseinek mélyreható vizsgálata, amely lehetővé teszi azok viselkedésének pontos leírását és tervezhetőségét.

Kutatásom során PLA/PBAT keverékek kémiai úton történő módosításával foglalkoztam. A keverékgyártás során lejátszódó reakciók hatására a két kiindulási polimer kémiaiilag összekapcsolódik, így a rendszerben in situ módon blokk-kopolimer képződik. Az elméleti megfontolások szerint ez a kopolimer elsősorban a két kiindulási polimer közötti határfázisban dúsul fel, ahol képes befolyásolni a polimerek közötti kölcsönhatások erősségét. A kölcsönhatások befolyásolják a kialakuló szerkezetet, amely végső soron az anyag makroszkopikus tulajdonságait határozza meg. A megfelelő kémiai reakció - például az átészterezés - kiválasztásával, a hozzáadott reagensek mennyiségének megválasztásával, valamint a feldolgozási paraméterek változtatásával lehetőség nyílik arra, hogy tervezni tudjuk a PLA/PBAT keverékek tulajdonságait.

Rudolf Mihály Mátyás

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

AB₂O₄-oxid alapú nanostruktúrák előállítása és jellemzése

A 'Multimodális szcintillátor nanoklaszterek előállítása és vizsgálata' című kutatási munkám keretében az AB₂O₄ spinel szerkezetű oxid molekulacsoportba tartozó ZnGa₂O₄ széles tiltott sávval rendelkező anyag előállításával és vizsgálatával foglalkoztam. Ezen anyag relatív nagy intenzitású, hosszan tartó lumineszcenciával rendelkezik, ha a reakció útján bizonyos ponthibákat, megfelelő mennyiségben építünk a kristályba. Multimodális tulajdonsága abból adódik, hogy a látható és az infravörös tartományban hangolható emisszióját széleskörben alkalmazhatjuk, így többek között különböző szenzorokhoz, diagnosztikai és fototerápiás célokra használható anyagokhoz juthatunk. Kutatómunkám során a Mn(II)- és Cr(III)-ionoknak a kristályszerkezetbe való beépülését, s az ebből származó 500 és 700 nm körüli emisszió finomhangolhatóságát vizsgáltam, valamint a reakció során hozzáadott, különböző méretű aranykolloidoknak a rendszerre gyakorolt hatását tanulmányoztam.

A Mn(II)-ionok beépülése során arra kerestem választ, hogy finomhangolható-e az anyag lumineszcens tulajdonsága, ha az adalékanyag koncentrációja helyett a kristályt felépítő Zn és Ga arányát változtatom a reakció során. Ezek a kísérletek azt mutatták, hogy a sztöchiometrikus aránytól való eltérés következtében nagymértékben változtathatjuk a különböző emissziós centrumok arányát az anyagban. Így az eredeti kutatási tervem - hogy erősítsem ezen anyag zöld emisszióját - egy intenzív marker létrehozása helyett, különböző spektrális átmenetekkel rendelkező anyagokhoz jutottam. Ekképpen, a különféle gerjesztésekre - röntgen, UV-A, UV-B - adott más és más lumineszcens válaszok által ezen anyagok ígéreteseknek bizonyulnak az eredetiségvédelem területén való felhasználásra. Mivel hamisítás elleni jelölőanyagokként alkalmazhatók, közös témavezetéssel egy BSc hallgató segítségével (Janny Florez Gonzalez) különböző felületekre való rétegek felvitelének vizsgálatával kezdtünk el kísérletezni.

A hozzáadott aranykolloidok hatásának vizsgálata során az eddigi eredmények nem mutattak optikai erősítést, viszont új eredményt kaptunk az elektronspin rezonancia spektroszkópiai mérések során, melyek megértéséhez további kísérletek szükségesek. Konkrétabban, a hiperfinom kölcsönhatás változását tapasztaltuk a 20 nm-es aranykolloidokat tartalmazó Mn-adalékolt minták esetében, míg a Cr-ionokat tartalmazó mintáknál egy új jelet mértünk ki. Emellett mind a két hozzáadott különböző méretű aranyrészecskék esetében UV- és zöld lézeres mérések esetében a Mn(II) 500 nm-es emissziója helyett 600 és 700 nm körüli szélesebb spektrumokat kaptunk. Ezen emissziós jelek érdekessége, hogy nem csupán a gerjesztés hullámhosszától függenek, de az intenzitásától is.

Barhács Balázs Marcell

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék

Szén-dioxid megkötése és hasznosítása fémklaszter-alapú katalizátorokkal

A növekvő légköri CO₂ koncentráció globális probléma, amelynek kezelésére a CO₂ megkötése és hasznosítása ígéretes megoldás. A szén-dioxid megkötéséhez stabil, nagy kapacitású és szelektív szorbensre, míg a szén-dioxid redukációjához hatékony katalizátorra van szükség, amely jelenleg még nem áll rendelkezésre.

Kutatási projektünk célja ezért egy új, hatékonyabb CO₂ szorbens és grafén alapú hordozóra leválasztott fémklaszter katalizátor szimulációkkal segített tervezése, alulról építkező, racionális stratégiával. Ehhez meg kell érteni a szerkezeti és teljesítményparaméterek közötti kapcsolatot mikro- és makroszkopikus szinten, melyhez elengedhetetlen az atomi szintű, kvantumkémiai szimulációk összehangolása a szintézisekkel, analízissel és mérésekkel. Kollégáimmal technológiai-gazdasági modellt fejlesztünk, amely összekapcsolja a piaci igényeket a technológiai és anyagtudományi szempontokkal.

A projekt részeként, kutatómunkám célja 2024-2025-re a klaszter katalizátor fejlesztéséhez egy saját készítésű mikrokinetikus modellel a termékeloszlás meghatározása hordozóanyagot nem tartalmazó klasztereken, valamint a hordozóanyag hatásának kezdeti vizsgálatai.

Korábban sűrűségfukcionál-elméleten (DFT) alapuló számításokkal térképeztem fel a reakciómechanizmust, vizsgálva a C1 és C2 termékképződést. Ezt követően mikrokinetikus modellt fejlesztettem, melybe implementáltam eredményeimet és meghatároztam a termékeloszlást. Ezek alapján a Cu₄ klasztert választottam ki a hordozó hatásának vizsgálatához. A továbbiakban a mikrokinetikus modell továbbfejlesztésére összpontosítok, figyelembe véve a pH hatását és a CO₂- és H⁺ diffúzió pontosabb leírását, valamint a tapasztalt méretfüggést elektronszerkezeti analízissel magyarázom. A katalizátor későbbi előállításánál a hordozóanyag szintézisét én végzem, míg a klaszterek leválasztását a Leuveni Egyetemmel együttműködés keretében tervezzük.

A CO₂- szorbens fejlesztéséhez új anyagokat szintetizálok, a kapott anyagok CO₂-adszorpcióját vizsgálom, valamint közreműködöm a CO₂- megkötés műszaki-gazdasági értékelésének kidolgozásában. Eddigi munkám során többféle anyagot is szintetizáltam és azokat többféle analitika, pl. termogravimetria, infravörös spektroszkópia, gázadszorpció, pásztázó elektronmikroszkópia és energiadiszipatív röntgen analízis segítségével minősítettem. Guba Márton DFT számításai alapján módosításokat végeztem az előállított anyagokon, mellyel sikerült növelni az anyagok CO₂- megkötő kapacitását.

Fekete Csilla

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék

Foszfortartalmú vegyületek optikai tulajdonságainak kvantumkémiai vizsgálata

A különleges optikai tulajdonságokkal rendelkező molekulák létrehozása kihívást jelentő feladat, emiatt ezen anyagok tudatos tervezése fontos kutatási iránnyá vált napjainkban. Ilyen jellegzetes anyagcsoport például a királisan perturbált vegyületek, amelyek kiralitáscentrummal és kromofór csoportokkal rendelkeznek és a cirkulárisan polarizált fénnel kölcsönhatásba tudnak lépni. Ezen anyagoknak számos izgalmas alkalmazási lehetősége van az optoelektronika, valamint a bioszenzorok és képalkotási technikák területén, de ezen kívül hasznosak lehetnek a biomolekulák érzékelésében és az enantiomerek megkülönböztetésében.

Bár több példa létezik a királisan perturbált kromofórokra, mégis egyre nagyobb érdeklődés tárgya annak felderítése, hogy egy molekula szerkezete hogyan befolyásolja az optikai (különösen kiroptikai) tulajdonságokat. A foszfortartalmú gyűrűt tartalmazó (pl. foszfetén alapú) vegyületek optikai tulajdonságai napjainkban intenzíven kutatott területté vált. A foszfetének például megfelelő hangolással kiváló alapanyagok lehetnek kiroptikai alkalmazásokra, hiszen a foszforatom egyben kiralitáscentrum is ezen vegyületekben, míg az ehhez kapcsolódó váz (amely gyakran egy policiklikus aromás szén-hidrogén (PAH) váz vagy ditienil-etén) alkotja a molekula kromofór egységét.

Munkám során célom számításhoz kémiai módszerekkel vizsgálni különböző királis foszforcentrumot tartalmazó kromofórok optikai tulajdonságait, illetve azt, hogy a molekuláris szerkezet finomhangolásai miként befolyásolják ezen tulajdonságokat. Célom, hogy különböző foszfortartalmú gyűrűk és PAH-vázak kombinációjával előálló molekulákat tervezek. Tervezem feltérképezni azt, hogy milyen hatással van a foszforatomot tartalmazó gyűrű tagszáma, valamint a kapcsolódó policiklusos aromás egységek (PAH) mérete, síkbeli kiterjedése az ultraibolya-látható (UV-Vis) és a cirkuláris dikroizmus (CD) spektrumokra. Célom ezen vegyületek széles skálájának szisztematikus tanulmányozása, a szerkezet-tulajdonság összefüggések feltérképezése. A különböző molekulák tervezésével és tanulmányozásával célom megállapítani azokat a szerkezeti tulajdonságokat, amelyek potenciálisan szintetizálható, kiemelkedő optikai aktivitással rendelkező vegyületekhez vezethetnek a számítások alapján.

Bartek Máté

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék

Heterobimetallikus fém-fém kölcsönhatások vizsgálata átmenetifém-karbonil komplexeknél

A katalitikus tulajdonságok javításának egyik új megközelítését a több fémcentrumot tartalmazó katalizátorok jelenthetik, amelyekben például a két fém centrum között fellépő, úgynevezett kooperatív effektusok révén a katalitikus aktivitás és szelektivitás érdemben módosul. Számos esetben nem egyértelmű a kooperatív effektusok pontos természete, valamint a hatása az adott katalitikus folyamatra, amely jelentős részben a fém-fém kölcsönhatások kihívásokkal teli modellezésére vezethető vissza. A közelmúltbeli új szerkezeti eredmények nyomán újra megvizsgáltam a 3d átmenetifém-dekakarbonil sorozat ismert példáiban ($M_2(CO)_{10}$, $MM'(CO)_{10}$, ahol $M, M' = Fe, Mn, Cr$) a fém-fém kölcsönhatások természetét az Interacting Quantum Atoms (IQA) energiapartícionálási módszerrel.

Az IQA eredmények azt mutatják, hogy bár a kovalens stabilizáció nem elhanyagolható a két fém centrum között, a teljes stabilizációs energia nagyrészt független a fém centrumok közötti közvetlen kölcsönhatástól. Végző soron a destabilizáló fém-fém kölcsönhatást elsősorban a fragmentumok közötti ligandumok gyenge, többcentrumos kölcsönhatásai kompenzálják, nem pedig a fémközpontok közötti közvetlen, formálisan 17-17 vagy 16-18 vegyértékelektronos kötések. A heterobimetallikus hatás jelentős szerepet játszik ezen komplexek stabilitásának meghatározásában, ám főként azért, mert erősebbek a fragmentumok közötti ligandum-ligandum és ligandum-fém kölcsönhatások, nem pedig a közvetlen datív fém-fém kötés miatt.

SZERVES KÉMIA ÉS TECHNOLOGIA

Fazekas Bettina

Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Rekombináns fehérjék fermentációjának PAT-alapú gyártáshatékonyság-optimalizálása és automatizált termékminőség-ellenőrzése

A rekombináns fehérjék terápiás felhasználása egyre elterjedtebb a gyógyszeriparban. Erre a célra az egyik leggyakrabban alkalmazott sejtvonala az *Escherichia coli* (*E. coli*), amely elsődleges gazdaszervezetként szolgál a rekombináns fehérje génjét kódoló plazmidok számára. A fermentáció során a különböző kritikus gyártási paraméterek változása, nagyban befolyásolja az előállított fehérjék minőségét és mennyiségét.

Mivel ezek a hatóanyagok bonyolult szerkezettel rendelkeznek, így rendkívül érzékenyek a környezeti tényezők változásaira, ami a molekulák aktivitásvesztéséhez vezethetnek, így későbbi gyógyászati célra történő alkalmazásuk limitált. Ennek következtében nemcsak az előállításuk, de maga a termék formulációja és a tárolás is számos kihívást rejt önmagában. A készítmények minőségének ellenőrzése azonban elengedhetetlen ahhoz, hogy biztonságos gyógyszereket állítsunk elő és juttassunk el a páciensekhez.

Kutatómunkám során egy rekombináns fehérjét termelő baktériumtörzs fermentációs folyamatának optimalizálását végeztem el. Továbbá célom volt a fehérje formulációjának, valamint a formulációs folyamat kritikus paramétereinek monitorozása folyamatfelügyelő és -analizáló (Process Analytical Technology, PAT) eszközök alkalmazásával.

Modellhatóanyagként zöld fluoreszcens fehérjét (GFP) termelő, génmódosított *E. coli* BL21 törzset alkalmaztam. A fermentáció optimalizálása során vizsgáltam az eltérő inkubációs és indukciós időket, különböző tápoldat-összetételeket és antibiotikumokat, valamint a léptéknövelés térfogatának hatását. A szilárd formulációkat nagysebességű elektrosztatikus szálképzéssel állítottam elő, melyek jellemzését fluoreszcens mikroszkópos vizsgálatokkal végeztem.

Fekete Dániel

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Folyamatos gyógyszeripari technológiák fejlesztése

Tablettázást megelőzően a nem megfelelő porfolyási és préselhetőségi tulajdonságokkal jellemezhető hatóanyagokat és segédanyagokat granulálják, ezzel javítja tablettázhatóságukat. A granulálás leggyakoribb típusa a nedves granulálás, mely során granuláló folyadék hozzáadásával érhető el a szemcsék összeragasztása. A granulálás a gyógyszeripari kutatás és fejlesztés egyik fő területe, hiszen a szilárd gyógyszerkészítmények fejlesztésének kulcsfontosságú lépése. Ezzel párhuzamosan a folyamatos, integrált portól a tablettáig tartó gyártósorok fejlesztése is folyamatban van.

Kutatómunkám során egy új nedves granulálási technológiát vizsgáltam és fejlesztettem egy teljesen folyamatos, integrált gyártósoron, működés és méretnövelhetőség szempontjából. A folyamatos rendszer tartalmazott egy adagolási, egy granulálási, egy hűtési, egy őrlési és egy tablettázási részlépést. Az új nedves granulálási technika nem igényel granuláló folyadék hozzáadását a kiindulási porkeverékhez, így a granulálás után csak minimális hűtésre van szükség, ami energiahatékonyabb folyamatot eredményez a gyógyszeripar számára. Ez úgy érhető el, hogy a porkeverékhez egy segédanyagot, kálium-nátrium-tartarát-tetrahidrátot (angolul „potassium sodium tartrate tertahydrate”, PST) kell hozzáadni. A PST magas kristályvíztartalommal rendelkezik, ami hőmérséklet hatására felszabadul, a folyamat során in-situ granuláló folyadékot eredményezve. Ezzel a nedves granuláláson alapuló technológiával kiváló porfolyási tulajdonságokkal rendelkező granulátumokat és azonnali kioldódású tablettákat gyártottam kis, 1% alatti kopási veszteséggel, amelyek eltöréséhez szükséges erő meghaladta a 100 N-t, szakítószilárdságuk pedig az 1,5 MPa-t. A folyamatos gyártás lehetővé tette a 0,5-ről 10 kg/h-ra történő egyszerű méretnövelést ugyanazon berendezés és folyamatparaméterek felhasználásával. Az eredményeket összegezve a vizsgált módszer egy ígéretes technológia lehet a gyógyszeripar számára.

Halmai Mónika

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Daganatellenes hatású Vinca alkaloid és flavonoid származékok előállítása

Napjaink egyik vezető halál oka a daganatos megbetegedések csoportja, amelyek kezelésére számos terápiás megközelítés áll rendelkezésre, köztük a kemoterápia. A rák rendkívül összetett, több jelátviteli útvonalat és molekuláris célt érintő betegség, ezért különösen ígéretesek azok a hatóanyagok, amelyek egyszerre több támadásponton képesek hatást kifejteni. Ennek egyik hatékony megközelítése a hibrid vegyületek alkalmazása, amelyek két vagy több biológiai aktív molekuláris egységet egyesítenek egyetlen szerkezetben.

A jelenleg forgalomban lévő gyógyszerek közel fele természetes eredetű vegyületekből származik vagy azok módosított formája. Ide tartoznak a Vinca alkaloidok, például a vinblasztin és a vinkrisztin, amelyeket a rózsás meténgből izoláltak és mind a mai napig széles körben alkalmaznak a daganatellenes terápiában. Ezek a dimer szerkezetű molekulák egy katarantin és egy vindolin egységből épülnek fel. Bár a vindolin önmagában nem mutat daganatellenes aktivitást, kiváló kiindulási molekulát jelent új hibrid vegyületek tervezéséhez.

A természetben széles körben előforduló flavonoidok szintén ismertek antioxidáns és daganatellenes hatásokról. Közülük a krizin (amely megtalálható a mézben is) szintén ígéretes alapváz lehet hibrid molekulák előállításához. További potenciális farmakofóroknak tekinthetők a trifenilfoszfín és származékai, amelyek nagy lipofilitásuk révén könnyen átjutnak a sejtmembránon és felhalmozódhatnak a mitokondriumban, így elősegíthetik a daganatellenes hatás kialakulását. Emellett az artemizinin és származékai is bizonyítottan hatásosak különböző daganattípusokkal szemben, így szintén potenciális farmakofór jelöltek lehetnek.

Kutatómunkám célja vindolin- és krizin-alapú hibrid vegyületek tervezése és előállítása foszfinszármazékokkal, illetve artemizinin-egységekkel történő kapcsolással. Eddigi munkám során közel 30 új hibrid vegyületet sikerült előállítani, amelyek közül a foszfóniumsó hibridek több daganatos sejtvonalon is jelentős sejthalált idéztek elő, míg az egyik vegyület migrációgátló hatást is mutatott emlőráksejteken. Emellett nem tumoros sejtvonalakon a vizsgált vegyületek csak magasabb koncentrációkban fejtettek ki citotoxikus hatást, ami kedvező szelektivitásra és terápiás potenciálra utal.

Célom további új hibrid vegyületek tervezése és előállítása, melyek várhatóan antiproliferatív hatással rendelkeznek. Emellett a kutatás során kiemelt hangsúlyt kap a kapcsolási módok és linker-rendszerek hatásának vizsgálata is, valamint a szerkezet-hatás összefüggések feltérképezése, különös tekintettel a lipofilitás és az oldhatóság szerepére.

A biológiai jellemzések eredményei alapján több ígéretes vegyületjelölt azonosítható, amelyek további farmakológiai és in vivo vizsgálatokra is alkalmasak lehetnek. Várható eredményeim hozzájárulhatnak a természetes eredetű hibrid vegyületeken alapuló daganatellenes stratégiák jobb megértéséhez, valamint a racionális gyógyszertervezés továbbfejlesztéséhez.

Kisfaludi Péter

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Heteroaromás egységet tartalmazó koronaéterek szintézise és alkalmazása

A hatékony és szabályozható királis elválasztás iránti növekvő igény a nagy áteresztőképességű folyamatokban a membránalapú eljárásokat ígéretes alternatívává emelte a hagyományos kromatográfiás módszerekkel szemben. Munkánk célja olyan funkcionális, microplate-alapú membránrendszerek fejlesztése volt, amelyekben immobilizált szelektormolekulák molekuláris felismerőképessége új elválasztástechnikai módszerekben hasznosítható. Kutatásunkban az enantiomerelválasztás befolyásolásának lehetőségeit vizsgáltuk, ahol a membrántranszport hajtóerejét a passzív diffúzió mellett egyenfeszültség biztosította.

Az eljárásunk egy 96-cellás microplaten alapuló konduktív szendvicsplate-felépítésen alapul. A rendszerben az donor- és akceptoroldalt egy folyadékmembrán választja el, amely enantiomertiszta szelektormolekulát tartalmaz. Racém terbutalinon, mint biológiailag aktív modellvegyületen végzett kísérleteinkben két transzportmechanizmust azonosítottunk. Segített transzport esetén az egyenfeszültség a diffúzió irányával megegyezően hatott és a membránfluxust ~1,5-szeresére növelte. Visszatartott transzport esetén az elektromos tér hatása ellentétes irányú volt a passzív diffúzióval, ekkor a fluxus akár nullaközeli értékre volt csökkenthető. Megfigyeltük továbbá, hogy a feszültség nemcsak a permeáció mértékét szabályozta, hanem a szelektormolekula enantiomerpreferenciáját is képes volt megfordítani, konformációváltozás következtében.

Eredményeink igazolják, hogy az egyenfeszültséggel vezérelt membrántranszport a passzív diffúzió alapuló elválasztási módszerekhez képest lényegesen szélesebb szabályozási lehetőségeket biztosít. Az elválasztási folyamat során mind a permeabilitás, mind a szelektivitás kontrollálható, ezáltal célzottan megvalósítható a rendszer finomhangolása. A különböző, 3D-nyomtatással készült konduktív microplate-platformokon végzett kísérletek megerősítették, hogy a módszer nanomoláris koncentrációtartományban is stabilan és reprodukálhatóan működtethető. Az enantiomerpreferencia „switching” mechanizmusának kihasználása lehetőséget teremt olyan automatizálható elválasztási folyamatok kialakítására, amelyek új megközelítést kínálnak a laboratóriumi membránszeparáció területén és megalapozhatják nagy áteresztőképességű, moduláris elválasztási platformok fejlesztését. A módszer alkalmazása különösen releváns a korai fázisú gyógyszerkutatásban, ahol a gyors, szelektív és kis anyagigényű elválasztási technikák kiemelt jelentőséggel bírnak.

Ötvös Bettina

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Környezetbarát égésgátló módszerek kifejlesztése és alkalmazása biopolimerekben

Munkám során egy alginát és kalcium-fitát alapú komplexet (AlgCaPA) hoztam létre és használtam fel politejsav (PLA) égésgátlására, ammónium-polifoszfát (APP) mellett. Az AlgCaPA egy teljesen bioalapú égésgátló adalék, mely vízbázisú, szerves oldószer- és melléktermékmentes szintézissel állítható elő. 15 tömeg%-ban rögzített égésgátló tartalom mellett optimalizáltam az AlgCaPA és az APP arányát. Az AlgCaPA és az APP közötti lehetséges szinergikus hatások vizsgálatára a PLA mátrixú kompozitokon termoanalitikai- és spektroszkópiai méréseket, valamint éghetőségi- és mechanikai vizsgálatokat végeztem. Az oxigénindex és a kónikus kalorimetria vizsgálatok igazolták, hogy az APP AlgCaPA-val való részleges helyettesítésével fokozott égésgátló hatás érhető el politejsavban. Az 5 tömeg% AlgCaPA-t és 10 tömeg% APP-t tartalmazó kompozit több szempontból is felülmúlta a 15 tömeg% APP-t tartalmazó kompozit teljesítményét; a kónikus kalorimetriai mérés során 18%-kal csökkent a teljes kibocsátott hőmennyiség és 74%-kal csökkent a füst kibocsátás, miközben jelentős mennyiségű szén maradék képződött. Ezen felül ugyanezen összetételű égésgátló kompozit rendelkezett a legalacsonyabb maximális hőkibocsátási sebesség- (pHRR) és átlagos hőleadási sebesség maximum (MARHE) értékekkel a minták közül. A szén maradékok elemzése alapján megállapítottam, hogy az AlgCaPA-ból származó kalcium elősegíti a keresztkötött foszfát- illetve hibrid foszfát-szén szerkezetek kialakulását, ami egy kompakt és hőstabil védőréteget eredményez. Összességében ezek az eredmények megerősítik, hogy az AlgCaPA hatékony, bioalapú, szinergistaként működik az APP mellett, lehetővé téve a fokozott égésgátló hatást, a megnövekedett szén maradékhozamot és a csökkentett füst kibocsátást a PLA alapú kompozitokban.

Péli Noémi

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Fejlett terápiás enzimek kifejlesztése

A humán tirozin-hidroxiláz (hTH) enzim az L-tirozin L-DOPA-vá alakításáért felelős, ami ezt követően dopaminná alakul a szervezetben. A dopamin ingerületátvivő anyag bioszintézis útvonalában a hTH felelős a sebességmeghatározó lépésért, megfelelő működése a normál idegrendszer működéshez elengedhetetlen. Így az enzim diszfunkciója számos neurodegeneratív betegség, akár a Parkinson-kór és más dopamin-függő rendellenességek patogenezisének hátterét képezi. A hagyományos L-DOPA- pótlási terápiák gyakran mellékhatásokat idéznek elő, ezért az enzimpótló terápia (ERT) alternatív megközelítésként kap figyelmet. Az ERT célja a hiányzó vagy defektív enzimet helyettesítő fehérje közvetlenül a célszövetbe juttatni, így a dopamin bioszintézist természetes módon helyreállítva. A rendszeres intravénás vagy orális adagolás gyakran korlátozott hatású a vér-agykéreg-gát (BBB) miatt, ezért a nem invazív, intranazális útvonal egy vonzó alternatívát nyújt, mivel közvetlenül a nyálkahártyán keresztül a központi idegrendszerbe juthat. Ennek megvalósításához olyan stabil, biokompatibilis hordozókra van szükség, amelyek képesek megőrizni az enzim aktivitását, csökkentik a fehérje aggregációját és megkönnyítik a célzott felvételt. A szilícium-dioxid nanorészecskék (SNP) előnyei közé tartozik a könnyű szintézise, a felület könnyű módosíthatósága és a biológiai kompatibilitás. Ebben a projektben a hTH-t GST-taggal ellátva *Escherichia coli*-ban előállítottuk, majd a fehérjét szilícium-dioxid nanopartikula felületén kialakított, amin-linkerek segítségével elektrosztatikusan rögzítettük. A Zeta-potenciál és a dinamikus fényszórás (DLS) mérések kimutatták, hogy a nanohordozóra kötött enzim aggregációja jelentősen csökkent, ami javítja a stabilitást és a biokatalitikus aktivitást. UV-Vis-spektroszkópiai vizsgálatok során a L-DOPA oxidációjának nyomon követésével bizonyítottuk, hogy az immobilizált enzim képes hatékonyan katalizálni a reakciót. Ezek az eredmények alátámasztják, hogy az amin-linkerrel módosított, méret-optimalizált SiO₂-nanopartikula hatékony platformot kínál hTH-alapú intranazális enzimpótló terápiához.

Péter-Haraszti Anna

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Analitikai módszerek fejlesztése gyógyszerkészítményekben lévő amorf formák átfogó vizsgálatára

A gyógyszeriparban kulcsfontosságú a megfelelő minőségirányítási rendszer kialakítása, aminek elengedhetetlen része az olyan folyamatelemző technológiák kidolgozása, amik képesek az egyes legyártott tabletták roncsolásmentes vizsgálatára és a gyártási hibák korai felismerésére, csökkentve ezzel a selejt arányát. A forgalomban levő és fejlesztés alatt álló hatóanyagok jelentős része rossz vízoldhatóságú, ami biológiai hasznosulásukat is korlátozza. Ennek javítására az amorf gyógyszerformulációk, például az amorf szilárd diszperziók (ASD) kialakítása hatékony megoldást kínálnak a hatóanyag oldódásának és ezáltal felszívódásának javításával. Kevés vizsgálat irányul azonban az amorf gyógyszerformákat tartalmazó készítmények roncsolásmentes, in-line minőségellenőrzésére.

A bemutatott munka két egymáshoz kapcsolódó kutatást foglal össze. Az elsőben a gyors, roncsolásmentes és költséghatékony UV-fotózás módszerével vizsgáltuk az ASD-t tartalmazó tabletták hatóanyag-tartalmát. A tabletták előállításánál az ASD-szálakat őrlést követően szakaszos és folyamatos homogenizálással kevertük segédanyagokkal, modellezve a különböző gyártási környezeteket. A vizsgált hatóanyag UV-fény hatására fluoreszcens tulajdonságokat mutatott, így a tablettázási segédanyagoktól jól elkülöníthető volt. A képek feldolgozását követően szabad szemmel is jelentős különbségek voltak megfigyelhetőek, amit a főkomponens-elemzés is igazolt, ezért eltérő kalibrációs modellek készültek a két mintacsoporthoz. A részleges legkisebb négyzetek regressziós módszerével készült kalibrációs modellek külső validálása alapján a kidolgozott módszer 5% alatti relatív hibával képes az egyes tabletták hatóanyag-tartalmának megbízható becslésére.

A második kutatás során kezdetben a szemcseméret és a kioldódás kapcsolatát vizsgáltuk egy másik ASD-rendszerben. Különböző szemcseméretű mintákon végzett kioldódásvizsgálatok igazolták a szemcseméret szerepét a felszabadulásban. A további mérések során az állatgyógyászati szempontból releváns pH=4,5-ös közeg a várt hatóanyag-tartalom elmaradását jelezte, ugyanakkor diszkriminatív kioldóközegnek bizonyult a minták kristályos tartalmának elkülönítésére. Feltártuk, hogy a kioldódásvizsgálatok során alkalmazott kalibrációs egyenes a jó illeszkedés ellenére is torzulhat, aminek hátterében kolloidkéimiai jelenségek állhatnak. Emellett igazoltuk, hogy az UV-fotózás alkalmas lehet már nyomnyi (~1%) kristályos tartalom gyors, roncsolásmentes detektálására is.

Az eredmények alapján az UV-fotózás ígéretes és költséghatékony, modern folyamatelemző technológia, ami alkalmas a különböző gyártási folyamatokból származó tabletták megkülönböztetésére, az egyedi tabletták hatóanyag-tartalmának becslésére, valamint az ASD-kben megjelenő kristályos nyomok korai detektálására. A bemutatott munka rávilágít arra is, hogy a nehezen felismerhető kolloidkéimiai folyamatok jelentős hatással lehetnek az ASD-k analitikai vizsgálatára, ami napjaink egyik fontos kutatási iránya.

Stoffán György Nimród

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Adalékanyaggal támogatott folyamatos kristályosítási technológiák fejlesztése

Napjainkban a gyógyszeripar a globális gazdaság egyik legmeghatározóbb ágazata, amelyben a gyógyszerkészítmények mintegy 70%-a szilárd gyógyszerformában kerül forgalomba. Ez kiemeli a szilárd hatóanyagok előállítási technológiáinak, azon belül is a kristályosítási műveletnek a jelentőségét. A kristályosítás alapvetően meghatározza a keletkező szemcsék mennyiségét, tisztaságát, morfológiáját és polimorf tulajdonságait, amelyek közvetlen hatással vannak a további feldolgozhatóságra és a biológiai hasznosulásra. Ennek megfelelően a kristályosítási eljárás és a kritikus folyamatparaméterek körültekintő megválasztása alapvető feltétele a megfelelő minőségű gyógyszerek előállításának. A hagyományos kristályosítási módszerek azonban gyakran nem képesek teljesíteni ezen elvárásokat, ami további költség- és időigényes utófeldolgozási lépéseket tesz szükségessé. Mindezek értelmében kutatómunkám célja egy innovatív hatóanyag-kristályosítási technológia fejlesztése, amely már a kristályosítás során lehetővé teszi a kialakuló szemcsék kritikus tulajdonságainak célzott szabályozását. A technológia lényege különböző, a gyógyszeriparban is alkalmazott segédanyagok tudatos hozzáadása a kristályosítandó oldathoz. Ezáltal pedig, a molekulák között kialakuló kölcsönhatások révén a kristályosítás egyes részlépéseinek kedvező befolyásolása.

Munkám során modell rendszerként a famotidin (FMT) gyomorsavcsökkentő hatóanyag és a poli(vinil-pirrolidon) (PVP) tablettázási segédanyag vizsgálatát tűztem ki célul. Elsőként a FMT gócképződésének folyamatparaméter-függését vizsgáltam önmagában és PVP jelenlétében. A segédanyagok kristályosítási kísérletek során szelektíven a termodinamikailag stabil, kedvezőbb porreológiai tulajdonságú Form A polimorf keletkezett. Azonban bizonyos folyamatparaméter-kombinációk esetében a túltelített oldat stabilizálódott és nem történt gócképződés. Az eredmények alapján a klasszikus gócképződési elmélettel meghatároztam különböző esetekre a FMT gócképződési sebességét. Továbbá molekula dinamikai szimulációk révén azonosítottam a PVP és FMT között kialakuló H-hidakat, valamint a polimer molekulák szterikus gátlásának lehetőségét, amely megmagyarázta a kísérleti tapasztalatokat. Munkám következő lépéseként a FMT oldószer közvetített polimorfátalakulásának (solvent-mediated polymorphic transformation, SMPT) lehetőségét és körülményeit vizsgáltam. Érdekes módon a vizsgált jelenség csupán vízben valósult meg a vizsgált oldószerek közül, azonban meglehetősen nagy mértékben függ az átalakulás sebessége az alkalmazott folyamatkörülményektől. Munkám alapján tehát széles körben vizsgáltam a FMT kristályosodási folyamatát a PVP segédanyag jelenlétében. Ezek alapján megállapítottam a technológiai szempontból is ideális folyamatkörülményeket és összeállítottam egy folyamatos üzemű tartálykristályosító kaszkádot, amely segítségével dugulásmentesen, jó termelékenységgel és szelektíven tudtam előállítani a kedvező porreológiai tulajdonságú Form A polimorfot.

Stummer Tamás

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Nanostruktúrált enzim-hordozórendszerek fejlesztése innovatív gyógyszeripari eljárásokhoz

A kutatási program célja gyógyszeripari biotranszformációs folyamatok fejlesztése az EGIS gyógyszeripari vállalat számára, kiemelten az ozanimod és az osimertinib, valamint ezek szerkezeti analógjainak gyártásában jelentkező kritikus szintézislépések kiváltására. Az ozanimod enantiomertiszta előállítását enzimatisz redukatív aminálással kívánjuk megvalósítani a lépésszám és a reagensfelhasználás csökkentése, valamint a magas enantiomertisztaság biztosítása érdekében. Az osimertinib szintézisében a genotoxikus akrilol-kloridot enzimatisz acilezéssel tervezzük helyettesíteni. A fejlesztések alapját elektrosztatikus szálképzéssel előállított nanohordozók, valamint nanorészecske tartalmú többkomponensű szálak rendszerek képezik, amelyekkel lipáz- és transzamináz-enzimek rögzíthetők, lehetővé téve a szelektív, toxikus reagensektől mentes és fenntartható hatóanyaggyártást.

A *Candida antarctica* Lipase B (CaLB) a gyógyszeripari biokatalízis egyik legelterjedtebb enzime kiemelkedő enantioszelektivitása, széles szubsztrátkészlete és nagyfokú stabilitása miatt. Hatékonyan alkalmazható szekunder alkoholok kinetikus rezolválására, királis észterek és amidok előállítására, valamint prokirális savszármazékok enantioszelektív átalakítására. Munkánk során felületkezelt magnetit alapú mágneses nanorészecskéken alapuló hordozórendszer alkalmasságát vizsgáltuk a CaLB immobilizálására. A mágneses tulajdonságok elősegítik az enzim egyszerű szeparálását és újrahasznosítását, míg a linker hidrofobitásának növelése kedvezően befolyásolja az enzimatisz aktivitását, kis- és makromolekulás szubsztrátok esetén egyaránt. Az így kialakított rendszerek alapot teremtenek hibrid, enzimtartalmú nanoszálak fejlesztéséhez és többkomponensű biokatalitikus anyagok létrehozásához.

A beszámolási időszakban átfogó irodalomkutatás történt a potenciálisan alkalmazható transzaminázok feltérképezésére, amelynek eredményeként a projekt következő fázisához az ATA-217 ω -transzamináz került kiválasztásra. A transzaminázok kulcsszerepet játszanak királis aminok szintézisében, azonban stabilitásuk miatt immobilizálásuk szükséges. A kiválasztást követően megkezdődött az ATA-217 rekombináns termelésének optimalizálása, megalapozva a kutatás további szakaszait.

Szabó Bence

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Gyógyszeripari tablettázás és folyamatos filmbevonás valós idejű minőségellenőrzése gépi látás segítségével

A kutatás célja gépi látáson alapuló felületvizsgálati módszerek fejlesztése szilárd gyógyszerformák gyors, roncsolásmentes minőségellenőrzésére. A vizsgálatok spironolakton modellhatóanyagot tartalmazó, kereskedelmi forgalomban elérhető készítmények összetételéhez hasonló, fehér tablettákon történtek, ahol a látható tartományú optikai elkülönítés korlátozott. Ultraibolya (UV) tartományba eső megvilágítás mellett ugyanakkor a komponensek eltérő abszorpció, illetve esetenként fluoreszcens tulajdonságai olyan képkontrasztot biztosítanak, amely a hatóanyag mellett a fő segédanyagok felületi régióinak azonosítását is lehetővé teszi. A mérési elrendezéstől függően a képkalkotás történhet látható fényre érzékeny RGB kamera, illetve UV tartományban működő UV kamera segítségével.

A minták előállítását prérésszimulátor alkalmazásával valósítottam meg, amely az ipari körforgós tablettázógépek prérelési dinamikáját laboratóriumi körülmények között, reprodukálható módon képezi le. Ez lehetőséget ad a technológiai paraméterek kontrollált változtatására, valamint a felületvizsgálati eljárások robusztusságának értékelésére. A spironolakton szemcseméretét kontrollált kristályosítással állítottam elő, így több szemcseméret-frakció biztosítható a mintagyártáshoz. Mivel a kereskedelmi készítményekben az anhidrát módosulat található, a vizsgálatok során szintén ennek előállítása volt a cél, amelyet Raman-spektroszkópiás mérésekkel igazoltunk.

Az UV-alapú gépi látás teljesítőképességét NIR-kémiai képkalkotási és Raman-térképezési referenciaeljárásokkal vetettük össze. A munka során UV kamerát használtunk 270 nm hullámhosszú megvilágítás mellett, így a tablettákban a komponensek jól elkülöníthetőek voltak. Az UV-képkalkotás tizedmásodperc alatti mérési idővel, teljes felületi lefedettség mellett képes a komponensek fő eloszlási mintázatainak reprodukálására. A NIR-kémiai képkalkotás hosszabb mérési idő mellett szintén teljes területi eloszlástérképeket szolgáltat, azonban a segédanyagok részleges spektrális átfedései a komponensek elkülönítését korlátozhatják. A Raman-térképezés jellemzően kisebb vizsgálati területre terjed ki, ugyanakkor nagy kémiai specificitása lehetővé teszi diszkrét régiók és határfelületek megbízható azonosítását, jellemzően hosszú mérési idő mellett. A három módszerrel előállított eloszlás- és kompozit térképek összességében konzisztens képet adtak: a felületet a fő segédanyagok dominálták, míg a spironolakton kisebb, jól körülhatárolt régiókban jelent meg.

A további kutatásaim célja olyan prediktív modellek létrehozása, amelyek a gépi látással becsült szemcseméret- és felületi struktúrajellemzők alapján képesek a kioldódási profil előrejelzésére. Az eddigi eredmények alapján a vizsgált összetételű tabletták értékelésére az alkalmazott UV-képkalkotási és képfeldolgozási mérési elrendezés alkalmasnak bizonyult.

Tuba László

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Enzimatis reakciók szerkezeti és számítógépes vizsgálata - mycotoxin bontó enzimek vizsgálata

A mikotoxinok széles körű előfordulása komoly élelmiszer- és takarmánybiztonsági kockázatot jelent, miközben a jelenleg alkalmazott fizikai és adszorbensalapú detoxikációs eljárások hatékonysága gyakran korlátozott.

A mikotoxinok enzimatis bontásával kapcsolatos egyik célunk a már ismert, fumonizin B1 (FB1) toxint bontó fumonizin észteráz (FE) enzim szerkezeti és funkcionális vizsgálata. A FB1 toxint bontó FE enzimek nagy áteresztőképességű vizsgálataihoz új, UV-aktív és fluorogén szubsztrátok fejlesztése szükséges, mivel a jelenleg elterjedt karboxil észteráz aktivitásmérési eljárások (például a 4-nitrofenol-butirát enzimatis hidrolízise) nem alkalmasak erre a célra. Az új szubsztrátok lehetővé teszik az enzimaktivitás gyors, érzékeny és reprodukálható mérését.

Kutatásunk fő célja olyan enzimek azonosítása, részletes jellemzése és ipari szempontból is alkalmazható fejlesztése, amelyek képesek elsősorban a deoxynivalenol (DON), valamint lehetőség szerint a T-2 toxin hatékony bontására a toxicitásért elsősorban felelős epoxid funkció bontásával. Az epoxid funkciót bontani képes enzimek azonosítása és jellemzése, mind a mai napig valós megoldásra váró probléma. Kutatásunk célja olyan önállóan is működőképes, célzott enzimatis detoxikációs stratégia kifejlesztése, amely alkalmas a toxinok szelektív inaktiválására, különös tekintettel az állati emésztőrendszerben történő alkalmazhatóságra.

Az első szemeszterben eddig elvégzett kutatás egyrészt a fumonizin észteráz potenciális szubsztrátjelöltek keresésére, tervezésére, valamint azok előállítására irányult. Az előállított szubsztrátokkal megkezdjük az analitikai és módszertani fejlesztést, amely alapot teremt az iparban rutinszerű enzimaktivitás vizsgálatához alkalmazható jelölt(ek) kiválasztásához. További kutatási célunk volt a fumonizin észteráz ligandumokkal együtt kristályosított röntgenszerkezetek számítógépes vizsgálata volt, a ligandumszerkezetek szerkezeti megoldásának segítéséhez.

Emellett áttekintettük a DON bontásra alkalmazott, az irodalomban fellelhető eddigi detoxifikációs próbálkozásokat.

SZERVES KÉMIA

Hangya Kinga Imola

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Egy C-C kapcsolási reakció optimalizálása 3D nyomtatott fotokémiai reaktorban

Kutatásunk során fotokatalitikus reakciókat vizsgálunk. A fotokatalízis napjainkban ismét egyre nagyobb figyelmet kap, mivel alkalmazásával rendkívül enyhe reakciókörülmények között hajthatók végre különböző kémiai átalakítások. Ez lehetőséget teremt olyan új technológiák fejlesztésére, amelyek kisebb környezeti terheléssel járnak. A témaválasztás során az aktualitás mellett fontos szempont volt a zöldkémia alapelveinek figyelembevétele is. Ennek megfelelően fotokatalizátorként a 4CzIPN szerves színezéket választottunk, amely nem tartalmaz átmenetifémet, így jelentősen olcsóbb és kevésbé toxikus.

Korábbi kutatómunkám során egy irodalomban ismert szén-szén kapcsolási reakció kiterjesztésével foglalkoztam. Jelenlegi munkám során célom volt az általam talált szubsztrátok közül a metil-cianoacetát és az 1,1-difeniletilén közötti 4CzIPN által katalizált szén-szén kapcsolási reakció optimalizálása kísérlettervezés segítségével. Azért ezt a szubsztrátot választottam, mert a reakció termékéből szubsztituált β -aminosav állítható elő, amely fontos gyógyszeripari alapanyag. Az optimalizáláshoz először oldószer- és bázis-screeninget végeztem, ami alapján a DBU és az acetonitril adódott a reakcióhoz optimális bázisnak és oldószernek. Továbbá vizsgáltam a reakció egyéb paramétereit is: a reakcióidőt, a reagensek molarányát, a besugárzó fény intenzitását, a hőmérsékletet és a bázis, illetve a katalizátor mennyiségét. Meghatároztam ezek alsó és felső szintjeit, valamint a centrumpontokat, majd ezekkel a paraméterekkel felépítettem egy 26-3 részfaktoros kísérlettervet, hogy megvizsgálhassuk a paraméterek közötti kettes kölcsönhatásokat, illetve keveredéseket. Ezen kísérleti terv, valamint a korábbi előkísérletek alapján a reakcióidőt és a fényintenzitást fix értéken rögzíthettük: a besugárzás hossza 5 óra lett a reakció lefutásának vizsgálata alapján, a fényintenzitást pedig 75%-ra határoztuk meg. Így további munkám során felépítettem egy, a maradék 4 paramétert tartalmazó 24 teljes faktoros kísérleti tervet. A paraméterek hatását a termelésre Pareto-ábrán ábrázoltam, ami alapján a hőmérséklet és a reagensek molaránya adódott a leginkább szignifikáns paraméternek. Box-Wilson-módszerrel optimalizáltam a reakciókörülményeket, majd ezen modell adekváltságának igazolására validáló kísérleteket végeztem. Végeredményül a kezdeti 48%-os termelést a kísérlettervezéssel történő optimalizálással 91%-ra sikerült javítani.

Varga Bertalan

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Szénhidrátalapú makrociklusok előállítása és alkalmazása

A ciklodextrinek (CD-k) α -D-glükopiranoz egységekből álló makrociklusok. Ezek a szénhidrátszármazékok kiváló komplexképző képességükről ismertek. Poláris felületüknek és apoláris üregüknek köszönhetően a CD-k képesek zárványkomplexeket képezni gyógyszerhatóanyagokkal, oldószerekkel vagy akár CO₂-dal is. Vízben jól oldódnak, így felhasználhatók a szerves vegyületek oldhatóságának és stabilitásának javítására. A CD-k a gyógyszermolekulák célbajuttatása mellett az ivóvizet szennyező szerves anyagok eltávolítására is használhatók.

Kutatásunk célja pozitív töltésű CD-származékok előállítása, amelyek elektrosztatikus kölcsönhatás révén különböző szilárd fázisokon (pl. szilikagél, kationcserélő gyanta) rögzíthetők új SPE (szilárd fázisú extrakció) töltetek kifejlesztéséhez. A szakirodalomban már bizonyították ennek a módszernek az alkalmasságát azzal, hogy többféle béta-ciklodextrin (BCD) származékot anionos membránhoz kötöttek triptofán enantiomerek elválasztására. Kutatómunkánk során ismert és új BCD származékokat állítottunk elő, amelyek permanens pozitív töltést tartalmaznak. Immobilizálásukat különböző szemcseméretű szulfonilpropil-módosított szilikagélen végeztük el. A szintetizált CD-k hatékonyan tudnak komplexet képezni hatóanyagokkal (acetilszalicilsav, diklofenak, ibuprofen), hormonokkal (17- β -ösztradiol, ösztron) és más endokrin károsító vegyületekkel (EDC-k, pl. biszfenol A és 4-nonilfenol), melyek a jelenleg használt szennyvíztisztítási technológiákkal nem távolíthatók el hatékonyan. Eredményeink bizonyítják az ilyen típusú SPE töltetek alkalmazhatóságát szennyvízanalitikára, azonban a szilárd hordozó típusát és a CD-k szerkezetét optimalizálni kell. Jövőbeni célunk a piacon kapható fordított fázisú SPE oszlopoknál hatékonyabb és szelektívebb, illetve többször felhasználható töltetek készítése.

Gémes Gergő

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Organo-fotokatalitikus C-C kapcsolási reakciók fejlesztése áramlásos 3D nyomtatott reaktorban

Munkám során fotokatalitikus átalakításokat végeztem egy áramlásos reaktorban. A fotokatalízis napjainkban reneszánszát éli. A legnagyobb előnye, hogy alkalmazásával kifejezetten enyhe körülmények közt végezhetünk átalakításokat, hiszen a reakciók fénybesugárzás hatására mennek végbe, esetemben egy fémentes fotokatalizátor jelenlétében. Napjainkban az áramlásos kémia is egyre népszerűbb, mert egyszerű automatizálást és állandó termékminőséget tesz lehetővé. A fotokatalízisben az átvilágított folyadékréteg vastagsága egy fontos paraméter, amely a szakaszos technológiával végzett méretnövelést nehézkessé teszi, azonban az áramlásos kémiában használatos kis átmérőjű csövekkel ideális kombinációt alkot, lehetővé téve a méretnövelést is.

Egy korábbi munkám során vizsgált fotokatalitikus C-alkilezési reakciót kívántam megvalósítani áramlásos reaktorban. A reakcióban CH savas vegyületek C-alkilezése történik 1,1-difeniletilénnel 4CzIPN fotokatalizátor mellett, bázis jelenlétében. Először egy bázis-screening keretében az eredeti batch reakcióban alkalmazott kálim-terc-butoxidot sikerült helyettesítenem DBU-val (1,8-diazabiciklo [5.4.0] undec-7-én) a metil-cianoacetát szubsztrát esetén.

Ezek után a metil-cianoacetát alkilezését vizsgáltam. A DBU-nak köszönhetően homogén reakcióelegyet a reaktor eredeti áramlásos feltételében reagáltattam és igyekeztem a tartózkodási időt csökkenteni. 5 óra mellett a termelés 89% volt, azonban a tartózkodási idő csökkentésével csökkent a reakció termelése is: 2 óra mellett már csak 72%-nak adódott a termelés. A reaktorhoz terveztem és elkészítettem egy új áramlásos feltétet, amely intenzívebb átvilágítást és jobb termosztálást tesz lehetővé. Az új elrendezésben is vizsgáltam a reakciót: 3 óra tartózkodási idő mellett 88%, 1 óra mellett 78% termelést ért el a reakció. A nagyobb mértékű átvilágítás lehetővé tette a töményebb reakcióelegyek alkalmazását is, így 2 óra besugárzás mellett egy 1,66-szor töményebb reakcióelegy esetén 93%-os termelést ért el a reakció, felülmúlva minden eddigi eredményt.

Az eddigi kísérleteket során metil-cianoacetáton végeztem. A következőkben további szubsztrátokat vizsgáltam: dimetil-malonát, dibenzil-malonát, pentán-2,4-dion, valamint etil-acetoacetát. Ezen vegyületek alkilezése nem ment végbe DBU mellett, így kálium-terc-butoxiddal végeztem a reakciókat 2 óra tartózkodási idő mellett az új, hatékonyabb elrendezésben. A dimetil-malonát esetén 84%, a dibenzil-malonát 68%, a pentán-2,4-dion esetén 13% míg az etil-acetoacetát esetén 89% termelést ért el a reakció. Ezen áramlásos reakciók a dibenzil-malonát és az etil-acetoacetát esetében messze felülmúlták a batch reakciókat termelés és főként termelékenység tekintetében.

A jövőben szeretném az áramlásos reakciókat tovább optimalizálni, különösen a dimetil-malonát és a pentán-2,4-dion esetén. Szeretnék még további elrendezéseket tervezni, valamint megkísérelni a reakcióelegyek folyamatos extrakcióval történő feldolgozását.

Gyöngyössy Ádám

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Újonnan engedélyezett gyógyszerhatóanyagok intermedierjeinek áramlásos kémiai szintézise

A pacritinib egy kismolekulás kináz inhibitor, mely 2022-ben lett engedélyezve az Egyesült Államok Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hivatala (FDA) által közepes vagy magas kockázatú mielofibrózis kezelésére. Bár szakaszos („batch”) technológiával történő előállítását már publikálták, áramlásos kémiai szintézise nem ismert.

Kutatómunkám során célul tűztük ki a pacritinib intermedierjének szintézisét áramlásos kémiai rendszerekben, az egyes reakciólépések optimalizálását, valamint a kutatócsoport által fejlesztett 3D nyomtatott reaktorokban való kivitelezését.

A pacritinib intermedierjének előállítását három lépésben kívántuk megvalósítani. Első lépésben 2,4-diklór-pirimidin és 3-formilfenilboronsav Suzuki-reakcióját terveztük elvégezni fűthető Asia® rendszerben, majd preparálást követően az így előállított benzaldehid-származék H-Cube Pro® folyamatos hidrogénező reaktorban vagy vegyszeres nátrium-borohidriddel történő redukciója volt a célunk. Végül az így előállított benzil-alkohol származékot allil-bromiddal reagáltatva egy O-alkilezési lépésen keresztül jutottunk a hatóanyag egyik kulcsintermedierjéhez.

A reakciók optimalizálását irodalmi példák reprodukálásával kezdtük, majd ezeket ültettük át áramlásos kémiai rendszerekbe, ahol az optimalizálás folyamán több reakciót befolyásoló faktort (hőmérséklet, tartózkodási idő) vizsgáltunk. A reakciók végbemenetelét kromatográfiás (GC, HPLC) és tömegspektrometriás (GC-MS, HPLC-MS) módszerekkel ellenőriztük, a termékeket oszlopkromatográfia segítségével tisztítottuk. Az előállított vegyületek szerkezetének igazolásához ¹H, ¹³C NMR és nagyfelbontású tömegspektrometriás (HRMS) vizsgálatokat végeztünk.

Győrfi Sára

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Triarilborán-katalizált redukzív éteresítés fém- és hidrogéngázmentes környezetben

Kutatásom során triarilborán-organokatalizált aldehidek éterré történő átalakításával foglalkoztam. Ez az átalakítás a szerves kémia területén régóta ismert és kiemelt jelentőségű cél, amelynek ipari hasznosságát elsősorban az illatanyag- és az üzemanyagipari alkalmazások támasztják alá, ugyanakkor a reakció hatékony és általános megvalósítása továbbra is jelentős szintetikus kihívást jelent.

Munkám során egy új, egyszerűbb és hatékonyabb redukzív éteresítési módszert fejlesztettem ki, amely ortoformiátok alkalmazásán alapul és a szubsztrátok eddig nem kihasznált hidrid-donor képességére, valamint diszproporcionálódására épül. Az olcsó és széles körben hozzáférhető ortoformiátok ebben az eljárásban kiváló alkilcsoport-forrásként alkalmazhatók. A folyamat kulcseleme a trisz(pentafluor-fenil)-borán, amely Lewis-sav katalizátorként lehetővé teszi a hidridtranszfer végbemenetelét. Eredményeim igazolják, hogy organokatalitikus körülmények között nincs szükség elemi hidrogén alkalmazására a redukzív éteresítés megvalósításához.

A féléves kutatási munkám első és legfontosabb eredménye a vizsgált reakció mechanizmusának részletes feltárása volt. A kísérleti és analitikai vizsgálatok alapján sikerült a teljes reakcióutat feltérképeznem, valamint azonosítanom a reakció során keletkező köztitermékeket. Az eredmények egy összetett, több lépésből álló mechanizmusra utalnak, amelyben a Brønsted-sav és Lewis-sav jellegű aktiválás együttesen játszik meghatározó szerepet. A mechanizmus vizsgálata során különös jelentőséggel bírt a reakció második lépése, amely a szakirodalomban korábban nem ismert mechanizmus szerint ment végbe.

A kutatás második szakaszában a redukzív éteresítési reakció kiterjeszthetőségét vizsgáltam különböző szubsztrátok alkalmazásával. A kísérleteket inert, nitrogén atmoszférájú glovebox körülmények között hajtottam végre. A munka eredményeként a korábban előállított vegyületek mellé további öt új vegyületet sikerült szintetizálnom, amelyeket ^1H -NMR, ^{13}C -NMR és nagyfelbontású tömegspektrometriás (HRMS) mérések segítségével teljeskörűen jellemeztem.

Eredményeim egy olyan új szintetikus stratégiát alapoznak meg, amely egyszerűbb, fenntarthatóbb és széles körben alkalmazható alternatívát kínál a redukzív éteresítés megvalósítására.

Szeip Judit

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Probiotikus étrend-kiegészítők gyártása folyamatos üzemű granulálási technológiával

A probiotikus baktériumot tartalmazó étrendkiegészítők és funkcionális élelmiszerek jelentősége folyamatosan nő napjainkban, hiszen a bélflóra egyensúlyának fenntartásával elkerülhető számos megbetegedés. A probiotikus készítmények közül is kiemelendő a hasmenés kezelésében gyakran alkalmazott *Lactobacillus acidophilus* és a szájhigiénia támogatásában szerepet játszó *Lactobacillus paracasei*.

A probiotikus készítmények gyártása összetett feladat, hiszen ezeknek a mikroorganizmusoknak a túlélését sok környezeti stressz befolyásolja mind a gyártás, mind a tárolás során. A megfelelő probiotikus készítmény előállításához ezért szükséges egy olyan élelmiszer-mátrix és gyártási eljárás kidolgozása, amely biztosítja a baktériumok túlélését. A folyamatos üzemű granulálási technológia alkalmas lehet kíméletes gyártási körülmények alkalmazására és ezáltal hőérzékeny biológiai hatóanyagok formulálására.

A kutatási tevékenységem elsődleges célja egy folyamatos gyártási eljárás kidolgozása volt probiotikus funkcionális élelmiszer-készítmények előállítására. Ennek érdekében a formuláció alapjának a kakaóport választottam, amely ízletes granulátumként javítja a gyermekek körében az együttműködési készséget és biztosítja a probiotikumok hatékony célba juttatását.

A formuláció kritikus pontja lehet azonban a baktériumok megfelelő mennyiségének biztosítása, ami a termék hatékonyságát befolyásolhatja. Célkitűzésem ebből adódóan az volt, hogy a korábbi kutatómunkám során megvalósított *Lactobacillus acidophilus* tartalmazó kakaó-granulátum baktériumtartalmát növeljem. Vizsgáltam a *Lactobacillus acidophilus* tenyésztését, illetve különböző stabilizáló komponensek, mint például a mannit, a sovány tejpor és az inulin hatását, melyek elősegíthetik a baktériumok túlélését az élelmiszer-mátrixban, így biztosítva a túlélésüket a gyártási folyamat során. Továbbá megvalósítottam a technológiai átültetését a *Lactobacillus paracasei*-re, ezzel igazolva a módszer transzferálhatóságát. Ezenfelül az ipari szintű gyárthatóság megalapozása céljából vizsgáltam a törzsek granuláló oldatban mutatott stabilitását, amely alapvető feltétele a technológiai időablak meghatározásának.

Eredményeim hozzájárulnak ahhoz, hogy a jövőben innovatív, hatékony, gyermekek számára is könnyen alkalmazható probiotikus formulációk kerülhessenek a piacra.

Garami Kristóf Noel

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Kovalens fragmensek alkalmazása terápiás célpontokon

Doktori munkám során a fragmensalapú gyógyszerkutatás keretei között nem kovalens kölcsönhatásokkal, kovalensen és feltételes kovalens módon kötődő fragmensek szintézisével és vizsgálatával foglalkoztam. A hagyományos fragmensek területén a lektin típusú DC-SIGN fehérjén azonosított fragmenstalátok optimalizálására állítottunk elő vegyületeket, melyek szűrését együttműködő partnereink végezték el a fehérjecélponton. A munka eredményeképpen többek között sikerült azonosítani két olyan molekulát, melyek jelentős hatásváltozást mutattak a kiindulási molekulához képest. A találatok mellett megállapítható, hogy a benzolgyűrű meta- és para-pozícióban szubsztituált származékai nagyobb aktivitást mutattak. Ezzel szemben a halogén más funkciós csoportokra történő cseréje (pl. -OH, -OMe, -NH₂) jelentősen csökkentette a vegyületek fehérjéhez való kötődését. A jövőben további származékok előállítását és biológiai vizsgálatát tervezzük. Terveink szerint STD-NMR spektroszkópiával határozzuk meg a pontos kötődési módot, majd a kiválasztott vegyület(ek)et szénhidrátszármazékokkal vagy más kötőhelyekre kötő fragmensekkel kötnénk össze, többek között azért, hogy bitopikus ligandumokat kapjunk.

A feltételes kovalens módon kötődő fragmensek területén egy új eljárást dolgoztunk ki, amely szulfonilhidrazonokból fotoaktiválás hatására keletkező reaktív karbént alkalmaz fehérjék jelölésére. Ez egyben megteremtette egy új fotoaffinitás-jelölési technológia alapjait, amely a korábbi megoldásokhoz képest egyszerűbben és olcsóbban állítható elő és hatékonyabb fehérjejelölést biztosít. Optimalizáltuk a fotoaktiválás körülményeit (pH, hullámhossz, idő, puffer), majd számos fragmensméretű ketonból és aldehidből képzett szulfonilhidrazonra terjesztettem ki a reakciót, igazolva egy széleskörű szubsztituens-toleranciát. Ezután a fragmenseknél komplexebb bioaktív vegyületek szulfonilhidrazon-analógjait állítottuk elő és igazoltuk a módszer alkalmazhatóságát több, terápiás szempontból releváns célponton, így neurológiai és pszichiátriai betegségek (acetilkolin-észteráz, monoamin-oxidáz A), illetve daganatok kialakulásában (KRas GTP-áz, STAT5b transzkripció faktor) szerepet játszó fehérjéken. Az izolált fehérjéken végzett vizsgálatok után az alkalmazhatóság bővítése céljából proteomikai méréseket is végeztünk.

Hajdú Dorottya Katalin

Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Mesterséges intelligencia és sokváltozós regressziós modellek fejlesztése és alkalmazása rekombináns fehérje-termelés nyomon követésére és szabályozására

A monoklonális antitestek a gyógyszeripar egyik legjelentősebb terápiás termékcsoportját képviselik és sok közülük a legnagyobb árbevételű készítmények közé tartozik. Előállításuk azonban komplex technológiai folyamat, amelyet jellemzően emlős sejtek, leggyakrabban kínai hörcsög petefészkek (Chinese Hamster Ovary, CHO) sejtek bioreaktoros tenyésztésével valósítanak meg. A CHO sejtek tenyésztése költséges, többkomponensű tápoldatokat igényel, továbbá a sejtek rendkívül érzékenyek a környezeti és technológiai paraméterek változásaira. Ezek a paraméterek jelentős hatással vannak a termelt fehérje mennyiségére és minőségére.

Munkám során innovatív folyamatfelügyelő és analizáló technológiai (Process Analytical Technology, PAT) eszközöket alkalmaztam a kihívások kezelésére. A kritikus folyamatparaméterek valós idejű monitorozása lehetőséget teremt a folyamatba történő azonnali beavatkozásra, ezáltal biztosítva a monoklonális antitestek robusztus és hatékony előállítását. Kutatásom középpontjában az adalimumabot termelő CHO sejtek bioreaktoros tenyésztési folyamatának fejlesztése állt. A kritikus paramétereket, mint például a tápanyag- és metabolitkoncentrációk, valamint az élő sejtszám, inline Raman spektroszkópia és dielektromos spektroszkópia alkalmazásával követtem nyomon.

A felvett komplex spektrumok kiértékelése sokváltozós adatelemzést igényel. A spektrumok feldolgozására hagyományosan részleges legkisebb négyzetek (Partial Least Squares, PLS) módszerén alapuló regressziót alkalmaznak, azonban ez a lineáris megközelítés nem minden esetben képes megfelelően leírni a koncentráció-változásokat egy ilyen összetett biológiai rendszerben. Ennek kiküszöbölésére több adatforrás integrálásán alapuló, adatfúzióval támogatott előrecsatolt mesterséges neurális hálózatokat (Artificial Neural Networks, ANNs) fejlesztettem az arginin, mint a CHO sejtek számára kritikus aminosav, koncentrációjának monitorozására. A kidolgozott modellek jó predikciós képességet mutattak, lehetővé téve a bioreaktoros sejtenyésztési folyamatok valós idejű monitorozását. A valós idejű információk elérhetősége nemcsak a folyamatok mélyebb megértését segíti elő, hanem azok folyamatos optimalizálását is támogatja.

Jávor Bálint Ferenc

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Nagy áteresztőképességű szintézistámogató eljárások fejlesztése

Előadásomban a kutatásunk két fő irányát mutatom be, amelyek középpontjában új, piridinalapú makrociklus-prekursorok előállítása, valamint egy alternatív enantiomerdúsítási stratégia kidolgozása állt.

Az előadás első részében a piridinegységet tartalmazó koronaéter-típusú szelektormolekulák prekursorainak szintézisét ismertetem. Bemutatom, hogyan fejlesztettük tovább a bipiridin-alapú szintetikus platformot új intermedierek előállításával, kiindulva a 2,6-piridindimetanolból. Részletesen kitérek a különböző védőcsoport-stratégiákra, kapcsolási reakciókra és oxidációs módszerekre, külön hangsúlyt helyezve a Dess-Martin-oxidáció kulcsszerepére az aldehidek hatékony előállításában. Az előadás során összehasonlítom az egyes szintetikus útvonalak előnyeit és korlátait, valamint bemutatom a felmerülő kihívásokat, mint például az oldhatósági problémák, mellékreakciók és a szelektivitás kérdése. Az kidolgozott stratégiák lehetővé tették több új makrociklus-prekursor előállítását.

A második részben egy új, mágneses mikrorészecskéken alapuló enantiomerdúsítási módszert ismertetek, amely az O,O'-dibenzoil-L-borkősav (DBBS) szelektormolekula immobilizálásán alapul. Bemutatom a különböző felületmódosítási és immobilizációs stratégiákat, valamint ezek hatását az enantiomerfelismerésre. Az eljárás hatékonyságát több királis modellvegyületen vizsgáltuk és az eredmények azt mutatják, hogy a módszer széles vegyületkörre alkalmazható, reprodukálható szelektivitást biztosít és nem igényel vegyületspecifikus optimalizálást. Kiemelem a módszer gyakorlati előnyeit is, mint például az egyszerű mágneses szeparáció, a gyors kivitelezhetőség, valamint a vizes, DMSO-t tartalmazó közegben való alkalmazhatóság.

Az előadás összességében azt szemlélteti, hogy megfelelő szintetikus és felületkémiai stratégiák kombinációjával új, hatékony eljárások fejleszthetők az enantiomerszelektív elválasztás területén.

Ujj Dóra Viktória

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Ciklodextrin alapú molekuláris ketrecek előállítása és vizsgálata biológiailag aktív hatóanyagokon

A ciklodextrineket (CD-ket) számos iparágban széles körben alkalmazzák, ami kiemelkedő zárványkomplex képző képességüknek köszönhető. A kialakuló zárványkomplexek tulajdonságai igen kedvezőek lehetnek. Zárványkomplex képzés révén elérhető például a vízben nehezen oldódó vegyületek vízoldékonyságának fokozása, gyógyszermolekulák esetén a mellékhatások csökkentése, vagy éppen a könnyen bomló molekulák stabilitásának növelése. A zárványkomplex élettartama, vagyis stabilitása a stabilitási állandóval jellemezhető.

A stabilitási állandó meghatározására számos technikát említ az irodalom. Fontos azonban azt megvizsgálni, hogy a különböző módszerekből kapott eredmények mennyire hasonlíthatók össze és hogy milyen esetleges buktatók lehetnek a stabilitási állandó meghatározása során.

Kutatómunkám keretein belül elsődleges célom volt azon módszerek vizsgálata és összehasonlítása, melyeket gyakran alkalmaznak a stabilitási állandó meghatározására. Munkám során sugammadex analóg CD-k, mint a subetadex (SBX) és a mono-subetadex (monoSBX) komplexképző tulajdonságait vizsgáltam és hasonlítottam össze a natív β -CD-vel. A komplexképző tulajdonságokat pufferben, pH 7,4-es értéken vizsgáltam, modellvegyületként citalopramot, egy szelektív szerotonin-visszavétel-gátló antidepresszánt választva. A stabilitási állandók meghatározásra kerültek fázisoldhatósági vizsgálattal, Hummel-Dreyer (HD) módszerrel, affinitás kapilláris elektroforézissel, ITC-vel és NMR-rel. Az eredmények alapján az ACE és az ITC technikák tűntek a legmegbízhatóbbnak a CD és a vendég molekula között kialakuló komplex stabilitási állandójának meghatározására.

Kutatásom során célul tűztem ki terner komplexek előállítását és vizsgálatát. Ehhez a subetadex CD-t és a heptakis(6-deoxy-6-amino)-beta-cyclodextrint (HABCD-t) alkalmaztam. Első lépésként egy egyponstos fázisoldhatósági vizsgálattal több modell molekula közül kiválasztottam a dihidrokapszaicint és a szimvasztatint. A két új vendégmolekula felhasználásával elkészítettem a terner komplexet, melyeket NMR segítségével vizsgáltam.

VEGYÉSZMÉRNÖKI ÉS BIOMÉRNÖKI FIATAL OKTATÓ, KUTATÓ

Márton Péter

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

Fém-oxid nanorészecskék és bevonataik előállítása és vizsgálata

A kutatómunka során távlati célom volt, hogy kitozánbevonatokba ágyazott hematit- és hematit-arany nanorészecskék rendszereit vizsgáljam. Ennek első lépéseként hematit nanolapkákat állítottam elő szolvotermális szintézissel. A nanolapok alakját, méretét és kristályszerkezetét pásztázó elektronmikroszkópiával, dinamikus fényszórási méréssel és röntgendiffrakcióval jellemeztem. Megállapítottam, hogy a nanolapok vizes közegű szuszpenziója elektrosztatikusan stabilizált és inert só (kálium-nitrát) hozzáadásával lehetséges azok kontrollált aggregációját kiváltani, melynek során a részecskék lapjaikkal összetapadva oszlopszerű aggregátumokat képeznek. Az aggregáció a spektrális tulajdonságok jelentős megváltozásával jár, melynek okait és mechanizmusát mikrospektroszkópiai és szimulációs módszerekkel derítettem fel. A kutatás másik nagy egységeként kitozánbevonatokat állítottam elő egy kétrétegű (mezopórusos szilika-kitozán) bevonatrendszer részeként. A modellrendszerek jellemzőit spektroszkópiai ellipszometriával, UV-látható- és NMR-spektroszkópiával határoztam meg. A bevonatrendszerben egy kationos modellhatóanyag, a rodamin 6G felvételének és leadásának kinetikáját vizsgáltam a hőmérséklet és a pH függvényében spektroszkópiai módszerrel. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy a színezékvétel során fennálló körülmények nem csak a felvétel mértékét, de a későbbi leadás kinetikáját is jelentősen befolyásolják. Összefoglalva, a kutatómunka eredményeként mind a hematit nanorészecskék előállításával és aggregációs tulajdonságaival, mind a mátrixpolimer áteresztőképességével kapcsolatos ismereteket bővítettem, amely nagyban hozzásegít a kompozit bevonatok jövőbeli tudatos tervezéséhez.

Tóth Gergő Dániel

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Új hordozós biokatalizátorok fejlesztése fenntartható kémiai folyamatokhoz

A fenntartható kémiai technológiákban az enzimek egyre jelentősebb szerepet töltenek be, köztük a műanyagok biodegradációjában is. Ipari alkalmazásukat ugyanakkor megnehezíti érzékenyséjük, nehéz visszanyerhetőségük és korlátozott újrafelhasználhatóságuk. Ezekre a problémákra kínálnak megoldást a korszerű nanohordozó-rendszerek, mint például a mágneses nanorészecskék (MNP-k), amelyek lehetővé teszik az enzimek stabilizálását és egyszerű szeparálását.

A projekt során szilika héjjal bevont mágneses nanorészecskék előállítását és felületmódosítását végeztük el, majd ezeket a *Candida antarctica* lipáz B (CaLB) enzim rögzítésére alkalmaztuk. Célunk egy olyan bifunkcionális hordozórendszer kialakítása volt, amelyhez az enzim adszorpcióval és kovalens kötéssel egyaránt rögzül, így javítva a rendszer stabilitását és aktivitását. A kutatás másik iránya egy programozható, 3D nyomtatott analitikai platform fejlesztése, amely lehetővé teszi a mágneses biokatalizátorok működésének automatizált vizsgálatát.

A kutatás során optimalizáltuk a mágneses nanorészecskék szintézisét és szilika bevonását, amely homogén, jól definiált mag-héj szerkezetű részecskéket eredményezett. Kimutattuk, hogy a felületmódosító organoszilánok hidrofobicitása kulcsszerepet játszik az enzim immobilizáció hatékonyságában. A legjobb teljesítményt egy bifunkcionális rendszerrel értük el, amelyben a hidrofób adszorpciót biztosító PhTMOS (feniltrimetoxiszilán) és a kovalens kötést lehetővé tevő GPTMOS (glicidoxipropil-trimetoxiszilán) 4:1 arányú kombinációját alkalmaztuk az enzim rögzítésére. A kiválasztott rendszer esetében vizsgáltuk az immobilizáció hőmérsékletének hatását az enzimaktivitásra és ennek alapján azonosítottuk az optimumot. Az így előállított biokatalizátor aktivitását PBSA [poli(butilén-szukcinát-co-adipát)] poliészter modellszubsztrát bontásában hasonlítottuk össze kereskedelmi immobilizált lipázkészítményekkel, ahol a mágneses nanorészecskékre rögzített enzim összemérhető teljesítményt mutatott a referenciákkal. A projekt eredményeként egy moduláris felépítésű, 3D nyomtatott, programozható analitikai platform prototípusa is elkészült, amely lehetővé teszi a mágneses biokatalizátorok automatizált és reprodukálható vizsgálatát. A rendszer ciklikus működés során biztosítja a mágneses nanorészecskék szuszpendálását, mágneses térrel történő szeparálását, a reakcióközeg pH-jának meghatározását, majd a részecskék reszuszpéndálását.

Golcs Ádám

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Képfeldolgozással kapcsolt nagy áteresztőképességű fluoreszcens mikrotálca-optoszenzorok fejlesztése

A projekt célja egy képfeldolgozással támogatott, ultra-nagy áteresztőképességű (uHT) fluoreszcens mikrotálca-optoszenzor platform fejlesztése volt, amely új koncepcionális megközelítéssel teszi lehetővé fémionok és biológiailag releváns kationos analitok gyors, költséghatékony detektálását. A kutatás középpontjában egy leegyszerűsített összetételű, direkt fluoreszcens ionoforokon alapuló plate-optód rendszer állt, amely UV-kamera alapú pillanatfelvételes detektálással és képfeldolgozási algoritmussal integrált analitikai platformba került.

A projekt során megvalósult egy ólomionokra (Pb^{2+}) validált uHT-screening platform, amely koronaétereket tartalmazó fluoreszcens membránrétegre épülő mikrotálcát, UV-alapú detektoregységet és RGB-intenzitásanalízisen alapuló képfeldolgozást foglal magában. Kidolgozásra került a szenzorfelület reprodukálható előállítása és immobilizálása, valamint a koncentrációfüggő fluoreszcens válasz kvantitatív kiértékelési protokollja. A rendszer alkalmas többtucat minta párhuzamos, gyors vizsgálatára, demonstrálva a technológia gyakorlati alkalmazhatóságát környezeti Pb-mintákon.

A projekt másik kiemelt eredménye az úgynevezett „permszelektivitás-kapcsoló” koncepció kísérleti tesztelése volt. Ennek keretében vizsgáltuk a membránpermeabilitás egyenfeszültséggel történő dinamikus modulálását, különös tekintettel a membránprekoncentráció és a töltésszelektív transzport szabályozására. A Pb^{2+} mintákon végzett mérések igazolták, hogy a DC-rásegítés befolyásolja a fluoreszcens válasz kinetikáját és intenzitását, ezzel új lehetőséget nyitva az optódmembrán-alapú iontranszport aktív szabályozására.

A jelen projekt eredményeként létrejött egy működőképes, fémionokon validált prototípus platform, amely technológiai és módszertani alapot biztosít a jövőbeli biomarker-specifikus fejlesztésekhez. A most kidolgozott membránkoncepció, képfeldolgozási eljárás és elektromosan szabályozott permszelektivitás együttesen lehetővé teheti a jövőben prediagnosztikai célú, mikrotálca-alapú fluoreszcens eszközök fejlesztését.

A projekt hozadéka egy moduláris, automatizálható, költséghatékony analitikai platform, amely a hagyományos műszeres technikák kapacitáskorlátait kiegészítve új irányt képviselhet mind a környezeti monitorozás, mind a decentralizált biomarker-alapú diagnosztika területén.

Hessz Dóra

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

Fluoreszcens szolvatokróm vegyületek fejlesztése mikroműanyagok szelektív kimutatására

Napjainkban a környezetszennyezés olyan globális probléma, melynek hosszútávú hatásait még nem látjuk tisztán. Különösen aggasztó a környezetbe kerülő műanyag hulladék kérdése. A műanyag hulladék degradációja során olyan mikro- és nanoműanyag részecskék keletkeznek, melyeknek egészségügyi kockázatáról még mindig keveset tudunk, holott a probléma már a 70-es évek óta ismer.

A mikro- és nanoműanyagok kimutatása jelenleg mikroszkópos eljárásokkal történik. A minta jellegétől függően előbb a szerves szennyezőktől elválasztják a műanyag részecskéket, majd a nagyobb részecskéket ($> 100 \mu\text{m}$) fénymikroszkóp alatt, a kisebbeket fluoreszcens festést követően fluoreszcencia mikroszkóp alatt számolják meg és ebből következtetnek a minta teljes műanyagtartalmára és a részecskék eloszlására. A fluoreszcens festéshez leggyakrabban alkalmazott Nílus vörös festék számos, gyakran előforduló műanyagtípushoz (polivinilklorid, poliamid, poliészter, poliuretán, polikarbonát vagy akár a leggyakoribb polietilén-tereftalát) nem, vagy csak erélyesebb körülmények között kötődik, ezért különösen fontos új festékek fejlesztése.

Munkámban olyan szolvatokróm festékeket mutatok be, amelyek fotofizikai tulajdonságai erősen függenek a környezetük polaritásától. Mivel a különböző műanyagtípusok eltérő dielektromos állandóval rendelkeznek, ezek a festékek alkalmasak a mikroműanyagok kvalitatív jellemzésére azáltal, hogy fluoreszcens emissziójuk a műanyagtípustól függően változik.

A DANS (4-dimetilamino-4'-nitrosztilbén) alkalmazhatóságát már korábban igazolták a szakirodalomban, saját kutatásunkban ezt a megközelítést fejlesztettük tovább. A műanyagok apoláris jellege miatt dielektromos állandóik viszonylag közel esnek egymáshoz, ami egyes műanyagtípusok (például PE és PP) esetében jelentős átfedést eredményez a fluoreszcens emissziós spektrumokban. Időfelbontásos fluoreszcencia mérésekkel igazoltuk, hogy számottevő különbség figyelhető meg a fluoreszcencia lecsengési időkből, amely másodlagos szelektivitási paraméterként kihasználható a minőségi megkülönböztetéshez. Az alkalmazott mérési módszert további szolvatokróm vegyületekre is kiterjesztettük.

Madarász Lajos

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Innovatív gépi látó rendszerek fejlesztése gyógyszeripari gyártási folyamatok támogatására

A folyamatos gyógyszeripari gyártástechnológiák térnyerésével egyre nagyobb igény mutatkozik a roncsolásmentes, valós idejű minőségbiztosítási módszerek iránt. Kutatásunk során ezért célunk egy olyan gépi látás alapú, UV-megvilágítást alkalmazó rendszer kialakítása és alkalmazása volt, ami lehetővé teszi szilárd gyógyszerformák hatóanyagtartalmának (API) roncsolásmentes meghatározását.

A tabletták automatikus fényképezését egy általunk fejlesztett rendszerrel végeztük: egy 3D nyomtatott alakítottunk át oly módon, hogy abba egy ipari kamerát szereltünk, melynek szenzora nem csak VIS, hanem UV tartományban is érzékeny. Az UV megvilágítást egy egyedi, 365 nm-es UV lámpa biztosította, ami szintén a mozgatható fejre került rögzítésre.

A képek elemzésére egy képelemző platformot hoztunk létre, aminek segítségével könnyedén, drag-and-drop módon hozhatunk létre tetszőleges képelemzési láncokat, illetve állíthatjuk a képelemzési lépések paramétereit. Ez a rendszer lehetővé teszi, hogy a felhasználók programozási tudás nélkül, vizuálisan építsenek fel és alkalmazzanak képelemzési folyamatokat. Az elmentett receptek segítségével a mérés során rögzített felvételekből azonnali információ nyerhető a tabletták minőségéről, továbbá a korábbi képek is könnyedén és gyorsan újraelemezhetők.

A kísérletek során mikrokristályos cellulózból (MCC) és canrenone modell hatóanyagból álló tablettákat állítottunk elő, 0 és 6 m/m% közötti API tartalommal. A kísérletek során a fent leírt berendezés mellett egy szállítószalagot is használtunk, amellyel a tablettákat in-line módon tudtuk vizsgálni. Mivel az API és a segédanyag UV-abszorpciója eltérő, a tabletták felületén jól megkülönböztethető szürkeárnyaltos intenzitáseloszlások jöttek létre.

A képek előfeldolgozása (háttér eltávolítása, megvilágítás korrekciója) után kinyert hisztogramokat részleges legkisebb négyzetek (PLS) regressziós modellek bemeneteként használtuk. A modellezés eredményeképp a prediktált és a névleges API tartalom között kiváló lineáris összefüggést tapasztaltunk. A modell prediktív képességét a 0,20 m/m%-os RMSEC, a 0,24 m/m%-os RMSECV, valamint a 0,27 m/m%-os RMSEP értékek is igazolják. A 4 m/m%-os célkoncentráció esetén a relatív predikciós hiba mindössze 6,78% volt. A rendszer nagy áteresztőképességét és ipari alkalmazhatóságát igazolja, hogy a mérések során a képalkotás 30 fps (kép/másodperc) sebességgel történt, miközben a tabletták 0,206 m/s sebességgel haladtak a szállítószalagon.

A kifejlesztett hardveres és szoftveres rendszer együttesen egy gyors, roncsolásmentes és mintaelőkészítést nem igénylő, költséghatékony alternatívát nyújt az API tartalom meghatározására laborkörülmények, illetve potenciálisan gyártási körülmények között is. A módszer hatalmas potenciált mutat a folyamatos gyógyszeripari gyártás valós idejű minőségellenőrzésének és a minőségbiztosítási folyamatok digitalizációjának támogatásában.

Nagy Brigitta

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szerves Kémia és Technológia Tanszék

Soft szenzor modellezés lehetőségeinek vizsgálata fluidágyas granulálási folyamatokhoz

A gyógyszeriparban egyre gyorsabban terjed a Pharma 4.0 keretrendszer, ami a digitalizáció, adatgyűjtés és széleskörű adatelemzés révén hozzájárulhat a folyamatok optimalizálásához, szabályzásához és valós idejű követéséhez. Ezáltal a gyártási folyamatok hatékonysága, megbízhatósága növelhető. Az automatizált adatgyűjtő rendszerek elterjedésével az ún. soft szenzorok - más néven szoftveres érzékelők - is egyre nagyobb szerepet kaphatnak. Ezek olyan programok, mechanisztikus vagy adatalapú matematikai modellek, amelyek könnyen mérhető adatokból (pl. hőmérséklet, légáram) becsülnék meg nehezen vagy költségesen (pl. dedikált spektroszkópiai szondákkal) mérhető fizikai, kémiai tulajdonságokat. A kutatás célkitűzése a soft szenzor modellezés lehetőségeinek felderítése gyógyszeripari gyártási környezetben, a készülék által automatikusan regisztrált adatok felhasználásával.

Kutatásomban a gyógyszeripar egyik fontos készítménygyártási lépését, a fluidágyas nedves granulálást vizsgáltam. A munkához rendelkezésre állt egy valós gyártástechnológiából gyűjtött szenzoradatkészlet (pl. hőmérséklet, páratartalom, légáram stb.) mintegy 500 granulálási-szárítási sarzsról. A granulátumok nedvességtartalmáról kb. 25 gyártáshoz NIR-szondával végzett folyamatos mérés is történt, míg mindegyik sarzshoz rendelkezésre áll a szárítás végén mért off-line szárítási veszteségmérés eredménye. Ezeket felhasználva hő- és tömegmérlegeken alapuló mechanisztikus modellt, valamint különböző topológiájú mesterséges neurális hálókat (ANN) építettem és hasonlítottam össze. A NIR-mérésekkel rendelkező sarzsokat a modellek illesztésére, a többit a tesztelésükre használtam.

Mindkét megközelítés ígéretesnek bizonyult a nedvességtartalom valós idejű nyomon követésére alkalmas soft szenzor modell építéséhez, ugyanakkor eltérő erősségeket és korlátokat mutattak meg. Az ANN modellek esetén a limitált tanító adatkészlet nehezítette a folyamatdinamika robusztus leírását, különösen a rekurrens (idősoros) architektúrák tanítása során. Ezzel szemben a mechanisztikus modellben a differenciálegyenlet-alapú megközelítés biztosítja a folyamat egységként, fizikailag releváns kezelését, viszont a külső zavaró tényezők, pl. külső környezeti körülmények véletlen ingadozása nehezebben volt leírható.

Az eredmények azt mutatják, hogy rutin gyártási adatokat felhasználva is építhető lehet soft szenzor modell. A gyártás során regisztrált szenzoradatok potenciálisan kiválthatják, vagy kiegészíthetik a dedikált analitikai szondákat, melyre így csak a tanító adatkészlet gyűjtése során van szükség. Soft szenzor megközelítéssel a nedvességtartalom valós időben számítható, ami jelentős előrelépést jelent a minőségbiztosításban, az egységes termékminőség elérésében. Ezáltal a kutatás hozzájárul az adatvezérelt megközelítések gyógyszeripari terjedéséhez, a modellalapú megközelítések széleskörű alkalmazásához, támogatva a digitalizáció további térnyerését.

Simon László Ferenc

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék

Katalitikusan érzékenyített felületi akusztikus hullám alapú bioszenzor fejlesztése: fundamentális kutatás és preklinikai alkalmazás a betegség melletti diagnosztikában

Katalitikusan érzékenyített felületi akusztikus hullám alapú bioszenzor fejlesztése: fundamentális kutatás és preklinikai alkalmazás a betegség melletti diagnosztikában

A biológiai eredetű makromolekulák, például fehérjék [1,2] és nukleinsavak [3,4] heterogén fázisú vizsgálata kulcsfontosságú a modern bioanalitikában és orvosdiagnosztikában. A felületi hullámterjedésen alapuló érzékelők, mint a képalkotó felületi plazmon rezonancia (SPRi) és a nyírási horizontális polarizációjú felületi akusztikus hullám (SH-SAW) alapú méréstechnikák lehetőséget kínálnak arra, hogy a hagyományosan koncentrációközpontú, egydimenziós jelértelmezést multiparaméteres analitikai információvá bővítsük. Ezen módszerek egyedülálló sajátossága, hogy az evanescens optikai és akusztikus hullámok érzékenysége a felületre merőlegesen exponenciálisan csökken, így a mért jel nemcsak a molekulák mennyiségével, hanem térbeli kiterjedésével is arányos. Ez különösen értékes teszi az SPRi és az SH-SAW megközelítéseket is a felismerőrétegek jellemzésében és a dinamikus változó biomolekuláris rendszerek vizsgálatában.

Előadásomban bemutatásra kerül a szívspecifikus troponin fehérjékre szelektív antitestek karakterizálása SPRi módszerrel, elsősorban a kötőkapacitás és a kötődési kinetika jellemzésével. Ismertetem az SH-SAW szenzorchip előállításának optimalizálását, fókuszálva az antitestek orientált immobilizálására és a felület blokkolására a nem specifikus kölcsönhatások visszaszorítása érdekében. Bemutatásra kerül továbbá egy katalitikus jelerősítési módszer is, amellyel a kimutatási határ jelentősen csökkenthető, valamint egy új koncepció a biomolekulák térbeli kiterjedésének meghatározására. Kihasználva a multiparaméteres jelértelmezés lehetőségét és a preklinikai vizsgálatok eredményeit, javaslatot teszek az akut miokardiális infarktus (AMI) súlyosságának és időpontjának egyidejű meghatározására, amely új lehetőségeket nyit a szívinfarktus betegség melletti diagnosztikájában.

VEGYÉSZMÉRNÖK ÉS BIOMÉRNÖK

Hegyi Mihály

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék

Teljesen automatizált, nagy nyomású és hőmérsékletű, egyedi kialakítású folyamatos reaktor fejlesztése és zöldkémiai alkalmazása -

A kisméretű áramlásos reaktorok fontos fejlesztési irányt jelentenek a modern vegyipar számára, különösen a hidrotermális, azaz nagy nyomású és hőmérsékletű vizes közegű folyamatok kutatása során. A terület szinte kizárólag szakaszos kísérletekre épít azok relatív egyszerűsége okán, azonban a hidrotermális közegre jellemző magas hőmérséklet és gyors reakciók a szakaszos kísérletek a felfűtés és lehűtés időigénye miatt nem-izoterm szakaszokkal torzítottak. Ez nehézzé vagy lehetetlenné teszi a folyamatok, különösen azok hőmérsékletfüggésének mélyebb megértését és leírását. A folyamatos rendszerek esetében ez a probléma kiküszöbölhető, ebben az esetben azonban az anyagok reaktorszakaszban vett pontos tartózkodási idejének meghatározása jelentős kihívás. Az irodalomban szórványosan foglalkoznak ezzel a problémával, a legtöbb esetben pontatlan közelítő megoldásokat alkalmaznak.

Munkámban egy laboratóriumi méretű áramlásos hidrotermális reaktorrendszer kifejlesztését végeztem. A megvalósított rendszerben hidrotermális reakciók vizsgálata lehetséges akár 350 °C hőmérséklet és 20 MPa nyomás mellett, a reaktorban 1-25 perc közötti átlagos tartózkodási idő állítható be. A reaktor-szakaszon izoterm reakciókörülmények biztosíthatóak, a felmelegítés és lehűtés okozta politrop régiók kiterjedését és az előmelegítő kemence utáni reagensadagolás, illetve egy kvencsáram biztosította pillanatszerű hűtés beépítésével csökkentettem a lehető legkisebbre. A reaktort elhagyó termékelegy analitikája az offline módszerek mellett egy inline abszorbanciadetektorral is lehetséges, ez gyors és nagy időbeli felbontású folyamatkövetést jelent. A rendszer részlegesen automatizált; a főbb működési paraméterek automatikusan szabályozottak, a mérési sorok számítógépes vezérléssel programozhatók.

A rendszer reaktor-szakaszán a tartózkodási időt valószínűségi eloszlásként vizsgáltam, ehhez tartózkodási idő eloszlás (TIE) méréseket végeztem fenol és NaCl nyomjelzővel a rendszer különböző szakaszain. Ezekből az eloszlásokból a reaktor TIE-ának kiszámítására Python alapú iteratív dekonvolúciós algoritmust, illetve adatfeldolgozási eljárást fejlesztettem. Az algoritmus segítségével a reaktor TIE-a becsülhető. A kidolgozott módszert szobahőmérsékletű, 14 MPa-os mérések segítségével validáltam, valamint vizsgáltam az egyedi mérések és a visszaszámított eloszlások ismételhetőségét.

A kidolgozott módszerrel meghatároztam a reaktor TIE-át hidrotermális körülmények között. Összehasonlítottam a TIE-n alapuló átlagos tartózkodási idő becslést az irodalomban szokványos módszerrel becsülhető értékkel. Az eredmények alapján a pontatlanabb becslés akár 30%-os eltérést is okozhat, az eloszlás mérése mikroreaktorok esetén tehát elengedhetetlen a reaktor pontos leírásához.

Kántor Petra

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék

Nagynyomású műveletek alkalmazása polimerhulladékok kezelésében

Szubkritikus hidrolízis: út a hulladéktól a nyersanyagig

A kompozit hulladékok mennyisége világszerte növekszik, így a megújulóenergia-ipar és az építőipar területén is. Ezen hulladékáramok kezelése komoly kihívást jelent, hiszen a térhálós polimer mátrixú kompozitok újrahasznosítása nehezen valósítható meg, így egyre nagyobb igény mutatkozik olyan alternatív technológiák fejlesztésére, amelyek az Európai Unió klímacéljaival és a körforgásos gazdaság alapelveivel is összhangban állnak. Munkánk során a szubkritikus vizes hidrolízis alkalmazhatóságát vizsgáltuk kompozitok kezelésére, két nagy mennyiségben keletkező hulladéktípusra fókuszálva: lakossági eredetű üvegyapot szigetelőanyagokra, valamint leszerelt szélerőmű-lapátokra.

A hidrotermális eljárás környezetbarát kémiai újrahasznosítási lehetőséget kínál, mivel lehetővé teszi a térhálós polimerek bontását különféle toxikus reagensek alkalmazása nélkül.

Munkánk során több hulladékforrásból származó üvegyapot minták újrahasznosítási lehetőségeit vizsgáltuk magas hőmérsékletű és nagy nyomású víz alkalmazásával, egy méretnövelhető, félfolyamatos rendszerben. A kísérleti körülmények között (250-300 °C) a szálak felületén található kötőanyag lebontható és a bomlástermékek a folyadékfázisba kerülnek, miközben az üvegszálak nagyrésze tisztított formában visszanyerhető. A folyamat során ugyanakkor az üveg oldódása is megfigyelhető. A reakció előrehaladását a folyadékfázis pH-jának mérésével követtük nyomon, míg összetételét GC-MS analízissel határoztuk meg. A visszanyert üvegszálak fajlagos felülete jelentősen megnövekedett, ami új felhasználási lehetőségeket nyithat meg, például katalizátorhordozóként vagy más, nagy fajlagos felületet igénylő alkalmazásokban. Alternatív megoldásként a megtisztított üveg újraolvasztása is hozzájárulhat a körforgásos gazdaság megvalósításához.

A vizsgált módszert kiterjesztettük egy leszerelt szélerőmű-lapát kompozit lebontási lehetőségeinek tanulmányozására is, amelyek főtömege elsősorban epoxigyantából és üvegszálakból áll. Modellgyantán végzett módszeroptimalizálást követően - optimális körülményekként 360 °C hőmérsékletet, 25 MPa nyomást és 30 perces reakcióidőt határozva meg - az eljárást sikeresen alkalmaztuk a szélerőmű-lapát mintákra is. A folyamat során szelektív termékösszetételt kaptunk, a keletkező komponensek főként fenol, biszfenol-A és 4-izopropenilfenol voltak. A visszanyert üvegszálakat vizuálisan pásztázó elektronmikroszkóppal ellenőriztük, míg az elvégzett termogravimetriás analízis a szálak 99%-ot meghaladó tisztaságát igazolta.

A bemutatott félfolyamatos szubkritikus vizes kezeléssel nagy tisztaságú üvegszálak visszanyerése lehetséges, valamint a folyadékfázisban azonosított értékes szerves vegyületek nemcsak a hulladéklerakás csökkentését teszik lehetővé, hanem hozzájárulnak a hulladékáramok értéknövelő hasznosításához is, összhangban a körforgásos gazdaság alapelveivel.

Kutatómunkámat Képes Bence és Székely Edittel együttesen végeztem.

Marton András Dénes

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék

Ambiens ionizációs tömegspektrometria alkalmazása gyógyszerhatóanyagok farmakokinetikai karakterizálására

Laser Assisted Rapid Evaporative Mass Spectrometry LA-REIMS technika gyógyszerkutatási alkalmazásai.

A gyógyszerjelölt vegyületek minél korábbi fázisban történő jellemzése kulcsfontosságú a gyógyszerfejlesztési folyamatokban. A megfelelő *in vitro* abszorpció, disztribúció, metabolizmus és elimináció (ADME) vizsgálatok lehetővé teszik nagy vegyületkönyvtárak gyors szűrését, ezzel segítve a vezérmolekula kiválasztását. A hagyományos HPLC-MS (high-performance liquid chromatography - mass spectrometry) alapú metabolikus stabilitási vizsgálatok ugyan érzékenyek, de időigényesek és komplex mintaelőkészítést igényelnek. Előadásunkban bemutatjuk a Laser Assisted Rapid Evaporative Ionization Mass Spectrometry (LA-REIMS) technikát, amely gyors, előkészítésmentes és hatékony analitikai lehetőséget kínál a gyógyszerek metabolikus stabilitásának és eloszlásának vizsgálatára.

Elsőként 76 darab különböző, kereskedelmi forgalomban kapható gyógyszerhatóanyag metabolikus stabilitását mértük biomimetikus metalloporfirin-alapú oxidatív modellekben, eltérő pH-értékek mellett. Az eredményeket a hagyományos HPLC-MS módszerrel validáltuk és megállapítottuk, hogy a LA-REIMS hasonló érzékenységet biztosít, de jelentős időmegtakarítást eredményez.

Mivel a mikroszómális rendszerek biológiailag relevánsabb környezet biztosítanak, ezért a korábbi tanulmányt követően a mikroszómális biotranszformáció hatására vizsgáltuk a gyógyszerek metabolikus stabilitását. LA-REIMS technikát, amely itt is alkalmas volt a gyors és valós idejű analízisre, szintén hagyományos HPLC-MS módszerrel validáltuk.

A harmadik bemutatandó kutatásban egy szemészetileg releváns hatóanyag, a nepafenac eloszlását vizsgáltuk szöveti mátrixban a sertés szaruhártyán belül, frissen fagyasztott szövetmetszeteken. A LA-REIMS segítségével időben és térben követtük a gyógyszer eloszlását a metszeteken. Az eredményeinket Raman képalkotási eredményekkel jó egyezést mutattak.

Kutatásaink alapján elmondható, hogy a LA-REIMS technika alkalmazása lehetővé teszi a gyors, valós idejű gyógyszeranalízist, amely nemcsak a metabolikus stabilitás, hanem a farmakokinetikai profilok és szöveti eloszlások vizsgálatában is előnyös lehet. A módszer alkalmazása különböző gyógyszerkutatási és fejlesztési fázisokban egyaránt új lehetőségeket kínálhat.

Kulcsszavak: LA-REIMS, gyógyszermetabolizmus, metabolikus stabilitás, mikroszómális rendszerek, szöveti eloszlás, farmakokinetika, gyors analízis, HPLC-MS

Martinusz Róbert Márk

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

The activation and regulation of the complement system

The complement system is a central component of innate immunity. It is active from fetal development, protecting the body from pathogens as well as from its own damaged structures. It is capable of recognizing molecular patterns associated with microorganisms or damaged cells. A molecule called factor D plays a central role in the so-called alternative pathway of complement activation.

To this day, there is no consensus in literature about the sequence of the propeptide carried by zymogenic factor D. The UniProt database contains the sequence PPRGR, while the sequence APPRGR is often cited by literature. A third variant, carrying a shorter propeptide with the sequence GR has also been identified in the urine of patients with damaged protein reabsorption in the kidneys. The main purpose of this research is the clarification of that sequence in healthy humans.

To this end, I have expressed the factor D variants carrying the different propeptides using *E. coli* and developed the protocols to bring them to the desired purity. The development of a micropreparative method to extract the factor D content from human plasma samples is in progress. A further goal is to scale up said process to be used in an FPLC device with a column of a few ml in volume. There is also an ongoing collaboration with a Swiss group on elucidating a possible new pathway of complement activation and determining whether it is physiologically relevant or not.

The new protocol uses *E. coli* for the expression, unlike the insect cells (Sf9) used by our group earlier. In the latter case some protease always activated at least a small fraction of the protein, so it was not possible to obtain a sample that did not contain at least trace amounts of the mature enzyme. This made measurements for the activity of the zymogenic form quite difficult, so we needed to use mutant forms unable to undergo activation for these. After obtaining a sample not containing even trace amounts of factor D, these experiments could be revisited using the wild-type enzyme.

Szajkó Milda Blanka

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

A genomi uracilosodás kapcsolata a transzkripció szabályozással

Az uracil a DNS-ben alapvetően hibaként ismert, ugyanakkor számos kutatás alátámasztja, hogy lehet biológiai funkciója is. Egyre több eredmény utal arra, hogy a DNS-beli uracil szabályozott jelenléte a kromatin szerveződéséhez és epigenetikai/transzkripció folyamatokhoz is hozzájárulhat. Kutatási projektem központi célja a genomi uracilosodás szerepének és a transzkripcióval való kapcsolatának feltárása zebrahál embriókban és timidilát-szintáz gátló, klinikumban alkalmazott gyógyszerekkel (raltitrexed, RTX; 5-fluoro-2'-dezoxiuridin, 5FdUR) kezelt humán rákos sejtvonalakon.

Korai zebrahál embriókból származó uracilosodási mintázatot funkcionális genomikai adatokkal hasonlítottam össze. A bioinformatikai feldolgozás során az adatokat szűrtem és formailag egységesítettem, valamint a GIGGLE programcsomag megszűnő támogatása miatt egy Python-környezetben futtatható, hasonló logikájú, intervallumfájlok összehasonlítására alkalmas eszközt fejlesztettem az analízisekhez. Az eredmények alapján az uracilos szakaszok elsősorban szatellit régiókkal fednek át, valamint a kromatinszerveződéshez és transzkripció szabályozáshoz kapcsolódó funkcionális genomikai jellemzőkkel mutatnak kolokalizációt.

A genomi uracil szerepének in vivo vizsgálatához aktív és inaktív uracil-N-glikoziláz (UNG) fehérjét mikroinjektáltam zebrahál embriókba. Mindkét esetben magas letalitást tapasztaltam; az uracil-DNS processzálnak megzavárása, akár pozitív (aktív UNG), akár negatív (inaktív UNG) formában, súlyos fejlődési rendellenességeket okoz. DsRed-fúzionált inaktív UNG fehérjével végzett fluoreszcens mikroszkópos vizsgálataink megerősítették a genomi uracil jelenlétét a korai embrionális szakaszokban, a zigotikus génaktiváció előtt.

Humán rákos sejtvonalakban a timidilát-szintáz gátlók különböző genomi uracilosodási mintázatai eltérő sejtválaszokkal, RNS-expressziós változásokkal és magas dózisu 5FdUR által szelektíven indukált mutagenezissel társulnak. 3D-PCR technikával sikerült megerősíteni az 5FdUR-kezelés hatására megnövekedett C-T mutációs átmenetek gyakoriságát, így lehetővé vált ezen eredményeink publikálása (PMID: 41651672). Különböző DNS-javítási kapacitású sejtvonalakban vizsgáltuk az RNS-expressziós szintek változását, a gyógyszerkezelések hatására jellegzetesen alul- és felülexpresszáldó géneket azonosítottunk, ami a p53-regulált útvonalak gyógyszer-specifikusan eltérő érintettségét tárta fel.

A projekt következő szakaszában az uracilosodás és a transzkripció szabályozás kapcsolatát in vitro és in silico megközelítésekkel is vizsgálom, valamint egy kromatinalapú szekvenálási módszer kidolgozását is célul tűztem ki.

Tóth Otília

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

A dUTPáz enzim eddig ismeretlen szerepének vizsgálata

A dUTPáz szerepe az embrionális fejlődés és a mitózis során

A dUTPáz enzim jól ismert szerepe az dUTP mennyiségének alacsony szinten tartása, ezáltal megakadályozva annak beépülését a DNS-be (Vértessy et al 2009). Korábban a mitózis során foszforilációtól függő nukleocitoplazmatikus lokalizációt (Róna et al 2013, 2014) és új izoformákat (Ladner et al 1996, 1997, G.A. Rác et al 2023) azonosítottak, azonban ehhez kapcsolt alternatív funkciót nem írtak le. A fejlődésbiológia egyik kulcsfontosságú modellorganizmusában, a *Drosophila melanogaster*-ben, a dUTPáz hiányának hatását eddig csak a metamorfózis szakaszában vizsgálták (V. Muha et al 2012). Jelenlegi eredményeink azt mutatják, hogy a dUTPáz csendesítése az embrionális fejlődés során mitotikus rendellenességekhez és letalitáshoz vezet. Korábban azt is kimutatták, hogy a *Dut* gén kiütése egerekben letális, mivel az embriók röviddel a beágyazódás után elpusztulnak (H.L. Pálinkás et al 2019). Megvizsgáltunk különböző menekítő mutánsokat és megállapítottuk, hogy a *Dut* kiütése nem kompenzálható az uracil metabolizmusban részt vevő gének kiütésével, ami egy eddig ismeretlen független funkcióra utal. Humán sejtvonalakban kimutattuk, hogy a dUTPáz az osztódó sejtekben a mikrotubulus hálózaton és a centroszómákban lokalizálódik. Továbbá azt találtuk, hogy a dUTPáz shRNS-mediált csendesítése centroszóma-amplifikációt indukál, amely mitotikus rendellenességekhez vezet, kiemelve a dUTPáz szerepét a sejtosztódásban. Eredményeink rámutatnak a dUTPáz alternatív funkciójára a centroszóma dinamikájának szabályozásában és a mitózis integritásának fenntartásában.

Emődi Nikolett

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

Gabonaféléket szennyező mikotoxinok inaktiválását célzó enzimkészítmény fejlesztése

A mikotoxinok másodlagos anyagcseretermékek, amelyeket elsősorban gombák termelnek. A gabona szennyeződése rontja az élelmiszer- és takarmányminőséget és ezzel jelentős veszteségeket okoz a mezőgazdaságban. A *Fusarium* sp. által termelt mikotoxinok, például a zearalenon (ZEN), akut és krónikus táplálkozási kitettség esetén súlyos egészségügyi problémákat okoznak emberekben és haszonállatokban. A zearalenon ösztrogén hatású molekula, a szervezetben történő felhalmozódása hiperösztrogenizmust vált ki, ezáltal negatívan hat a szaporodásbiológiára. Emellett a mikotoxin gyulladást okoz a bél nyálkahártyájában, ezzel gyengítve az immunrendszer megfelelő működését. A haszonállatok zearalenonnal szennyezett takarmányozása súlyos egészségügyi következményekkel jár, főként sertésekben, melyek a legérzékenyebbek a kitettségre.

A mikotoxinok közvetetten is bejuthatnak az emberi táplálékláncba a tejben, a húson, a tojásban és ezek származékjain keresztül, ezért alapvető fontosságú, hogy a mikotoxin-szennyezést már az állati takarmányozás szintjén kezeljük, hogy elkerüljük a további kockázatokat. Míg a hagyományos ZEN degradációs módszerek, mint a hő vagy kémiai kezelés károsíthatják a takarmány minőségét, az enzimatis inaktiválás megbízható, környezetbarát megoldást kínál, amely biztonságosan semlegesíti a toxint és megőrzi a gabona tápanyagtartalmát.

A lakton-hidrolázok jelentős figyelmet kaptak, mivel képesek a ZEN-t nem toxikus formára bontani a molekulában található lakton kötés hidrolízisével. Kutatásunk központjában azok a zearalenon-laktonázok állnak, melyek alacsony K_m és magas k_{cat} értékkel rendelkeznek, így hatékonyan képesek inaktiválni a ZEN alacsony környezeti koncentrációit.

A KDP ösztöndíjas időszak első szemeszterében, expresszáltattunk két irodalomkutatással azonosított ZEN-hidroláz enzimet. A ZHD101 enzimet *Pichia pastoris* expressziós rendszerben állítottuk elő. Az enzim karakterizálásával fény derült arra, hogy a termelőtörzs megváltoztatása a korábbi irodalmi eredményekhez képest jelentősen magasabb k_{cat} értéket eredményezett és csökkentette a K_m értékét. Ezzel szemben az *Escherichia coli*-ban expresszált, majd affinitáskromatográfiás módszerrel tisztított ReZHD enzim irodalmi eredményét nem sikerült reprodukálni, mivel a ReZHD rendkívül instabilnak bizonyult és a k_{cat} érték jelentősen alacsonyabb, míg a K_m érték magasabb volt.

Az enzim élelmiszer- és takarmányiparban való tárolhatóságának és alkalmazhatóságának javítása érdekében többféle formulációt teszteltünk.

Emellett sor került a mikotoxin szilárd fázisú fermentációjára, a zearalenont az eddigi irodalmi eredmények tízszeresét meghaladó mértékben tudtuk előállítani. A ZEN kinyerésére több módszert is összevetettünk a termék visszanyerése és tisztasága, a folyamat időigénye és költsége szempontjából.

Kese István

Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar

Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

Új alkiltio-ciklodextrin származékok előállítása a kvórum érzékelés befolyásolására mikrobiális modellrendszerekben

A kvórum érzékelés (quorum sensing, QS), más néven mikrobiális kommunikáció egy sejtsűrűségtől függő inger-válasz rendszer, amelyet számos baktériumfaj alkalmaz együttműködés kialakítására. Ennek alapja a kis molekulású szignálmolekulák (pl. acil-homoszerin lakton típusú szignálok, AHL-ek) termelése, érzékelése és az ezt követő génexpresszió szabályozása. A jelmolekulákkal megvalósított kvórum érzékelés irányítja olyan tulajdonságok kifejeződését, mint például a biofilmképzés, ami a gyógyásztól kezdve, a mezőgazdaságon át egészen a környezetvédelemig számos területen lehet káros. A kvórum csillapítás (quorum quenching, QQ), a kvórum érzékelés gátlása számos, különböző molekulát és módszert foglal magában, amelyek közös jellemzője, hogy nem pusztítják el vagy helyezik szelekciós nyomás alá a baktériumot, csupán a sejtek közti kommunikációt akadályozzák meg.

Napjainkra a ciklodextrinek (CD-k) gyűrűs szerkezetükből és kettős polaritásukból adódó zárványkomplex képző tulajdonságuknak köszönhetően széles körben elterjedtek. Molekuláris csapdaként való használatuk hagyományossá vált a gyógyszer-, élelmiszer- és kozmetikai iparban, valamint a környezetvédelem különböző területein is. Ezeken felül az utóbbi években igazolódott a CD-k QS-re gyakorolt gátló hatása is, miszerint az apoláris üregükben képesek lehetnek a Gram-negatív baktériumok kommunikációjában kulcsszerepet játszó AHL-ek acil oldalláncának reverzibilis komplexálására, így megszakítva a sejtek közötti együttműködést, így ezen eredmények megnyitották az utat a CD-k quorum sensing inhibitoroként (QSI) való alkalmazása felé.

Kutatásom célja olyan új, vízdoldható ciklodextrin-származékok előállítása, amelyek hatékonyan képesek komplexálni az említett szignálmolekulákat, ezáltal befolyásolni (gátolni vagy serkenteni) a QS által szabályozott folyamatokat. Továbbá célom, a CycloLab Kft. finomvegyszer portfóliójának bővítése az előállított új intermedierekkel, illetve származékokkal. Ehhez elengedhetetlen egy jó távozó csoport kialakítása a CD-n, így a kutatásom korai szakaszában ezen reakció optimalizálásával foglalkoztam. A következő lépésben kerül kialakításra az alkiltio-lánc, végül további származékolás (szulfobutilezés, hidroxipropilezés, aminopropilezés) során áll elő a vízdoldható alkiltio-CD-származék. Az előállított származékok szerkezetét különböző analitikai módszerekkel vizsgáltam (HPLC, ESI-MS, NMR, CE).

Az új vízdoldható ciklodextrin-származékok bioaktív potenciáljának felmérésére előkísérleteket végeztem *Aliivibrio fischeri* bakteriális modellrendszerben a biolumineszcencia nyomon követésével. A QS által vezérelt biolumineszcencia mérése mellett az életképességre gyakorolt hatást is tanulmányoztam különböző végpontokkal, szaporodási intenzitás és tetrazólium redukción alapuló enzimaktivitás méréssel.

Vészi Atád

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék

A fenntartható oldószerek jellemzése

A kutatási terv első szemeszterében a DKÖP kutatási terv szerint két biner elegy - a metil 4-metoxivalerát-metanol, valamint az etil 4-etoxivalerát-etanol rendszer - VLE kölcsönhatások együttthatóinak meghatározása volt tervezve, ami sikeresen el lett végezve. Mindkét elegy esetében elsőként az analitika kidolgozása történt, a komponensek koncentrációjának meghatározásához, elsősorban gázkromatográfiás (GC) módszerrel, alternatívaként pedig törésmutató-mérés alkalmazása volt tervben, amit nem kellett alkalmazni. Ezt követően gőz-folyadék egyensúlyi mérések lettek elvégezve először atmoszférikusán, majd mindkét elegynél meg lett próbálva csökkentett - 50 és 10 kPa - nyomáson, de ezek a nyomásparaméterek nem voltak elvégezhetőek a két alkohol relatív magas illékonyasága miatt. Majd az így nyert adatok konzisztenciáját a Wisniak-féle L/W teszt és a Herington-féle területteszt segítségével voltak ellenőrizve. A konzisztens mérési eredményeket különböző termodinamikai egyensúlymodellek (NRTL, Wilson, UNIFAC, UNIQUAC) alkalmazásával történt a metanolos biner elegy esetében, az etanolos biner elegynél még folyamatban van a modellek vizsgálata. Emellett egy Matlab program fejlesztésével foglalkoztam, az adatok kiértékeléséhez, különböző konzisztenciatesztek futtatásához és grafikus megjelenítéshez.

Mindezek mellett volt idő még a kutatási terv második szemeszterében lévő terveket is véghez vinni. A kutatási terv második szemeszterében az etil 4-etoxivalerát, illetve metil 4-metoxivalerát és gamma-valerolakton (GVL) biner elegyeinek vizsgálata volt megtervezve, az első szemeszteri tervezet során alkalmazott módszertan mentén. A mérési sorozat során először az elegy összetétele volt meghatározva gázkromatográfiás (GC) eljárással. Az első szemeszteri módszertantól eltérően először 10 kPa nyomáson voltak gőz-folyadék egyensúlyi adatok mérve, majd megvizsgáltam 50 kPa-on is, de nem lehetett felvenni stabil adatpontokat, mivel mindkét biner elegypárosnál magas forráspontok voltak megfigyelhetőek. A kapott adatok konzisztenciatesztek (Wisniak L/W és Herington-féle módszer) segítségével voltak értékelve. A kapott adatok különböző termodinamikai modellek felhasználásával lesznek elemezve. A következő szemeszterben tervek szerint az előző mérési szakaszok során azonosított esetleges hibás vagy nem kellően megbízható adatpontok újramérésére kerül sor. Ezzel párhuzamosan megkezdem annak a négy vizsgált biner rendszernek - metil 4-metoxivalerát - metanol, etil 4-etoxivalerát - etanol, etil 4-etoxivalerát - GVL, valamint metil 4-metoxivalerát - GVL - az együttes, összehasonlító elemzését, amelyek az érintett oldószerek előállítása során melléktermékként vagy intermedierként képződő elegyeket reprezentálják. Az összehasonlító vizsgálatok célja az egyensúlyi viselkedés különbségeinek feltárása, amely hozzájárulhat a szintézisfolyamatok hatékonyabb tervezéséhez és az oldószerválasztás optimalizálásához. Az eredmények alapján egy tudományos közlemény fog készülni.

VILLAMOSMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR
ANYAGTUDOMÁNY ÉS KÖRNYEZETI TECHNOLÓGIÁK

Ali Gharaibeh

*Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Elektronikai Technológia Tanszék*

Development of Tin-Based Solder Alloys: A Multifaceted Study on Electrochemical Migration, Corrosion Resistance, and Oxide Layer Stability

Driven by the phase-out of lead usage and the ongoing miniaturization of electronic devices, ensuring the reliability of Sn-based lead-free solder alloys and surface finishes has become increasingly critical. Among the key reliability challenges, electrochemical migration (ECM), arising from electrochemical corrosion processes, represents a major failure mechanism in microelectronics due to its ability to induce short circuits through dendritic growth.

In this project, I developed a novel two-dimensional numerical framework to model ECM on copper pads in printed circuit boards (PCBs). The model combines deterministic formulations for anodic dissolution and ion transport with a stochastic approach to simulate dendritic growth, enabling realistic representation of the inherent randomness of the process. Ion transport is solved deterministically using the finite difference method (FDM), while dendritic growth is modeled stochastically based on the normalized ion concentration across the computational grid. Within this framework, I systematically implemented and evaluated three distinct algorithmic strategies to reproduce the characteristic tree-like morphology of Cu dendrites and to predict the time to failure (TTF) under defined conditions.

This work significantly advances the current understanding of ECM-induced dendrite formation by overcoming key limitations of existing models. While previous approaches have generated simplified dendritic structures, they have not captured the diversity of fractal characteristics and branching complexities observed experimentally. By introducing a comprehensive stochastic modeling strategy, my framework captures a broad spectrum of dendritic morphologies, providing a more accurate and physically representative description of the phenomenon.

The model successfully reproduces complex tree-like dendritic structures and captures variations in fractal dimensions, demonstrating its effectiveness in representing the nuanced morphological features of ECM-induced Cu dendrites. The simulation results were systematically validated against experimental data: TTF predictions were assessed using Weibull lifetime analysis, while dendritic morphologies were compared with optical microscopy observations. These results contribute to improved predictive capabilities for reliability assessment in microelectronic systems.

Overall, this work establishes a robust and versatile modeling framework for ECM and supports the development of more reliable next-generation electronic materials and systems.

Pintér Bálint

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék

Speciális anyagmodellek alkalmazása és elektromágneses vizsgálata az elektromágneses kompatibilitásban

Napjaink mobilitási iparában (személygépjárművek, repülőgépek, mikromobilitási eszközök) folyamatosan terjednek el a rendkívül könnyű, de erős kompozit anyagok, például karbonszálak kompozit polimerek (CFRP anyagok) egy ígéretes csoportot alkotnak. Számos alkalmazásban nem csupán a mechanikai szempontokat, hanem az elektromágneses aspektusokat is figyelembe kell venni (elektromágneses árnyékolási képesség, örvényáramok, disszipáció stb.), melyek ismerete elengedhetetlen egy megfelelő termék készítéséhez. A CFRP egy belső struktúrájú, rétegzett anyag, minden rétegben mikrométeres nagyságrendű szénszálak ezrei vannak. Ebből eredően a CFRP egy elektromágnesesen inhomogén, anizotrop közeg, továbbá a lemezen belüli szálsűrűség egyenetlen. Emiatt a tervezés során használt numerikus szimulációkban lehetetlen az anyagot szálszinten implementálni, megoldást erre egy homogenizációs eljárás jelent, amellyel már lehet szimulációkat végezni. Elektromágneses problémák nyelvén ez az anyagjellemzők (permittivitás, permeabilitás, vezetőképesség) térbeli homogenizálását jelenti, melyre egy egyszerű, gyorsan kiértékelhető módszertant fejlesztettünk ki. Az elektromágneses-kvázistatikus közelítést használó modellben első körben egy unidirekciális réteget kell homogenizálni, mely alap építőköve a bonyolultabb, komplex CFRP anyagú alkatrészeknek. Lényegi egyszerűsítés, ha szabályos struktúrát tételezünk fel, ahol a szálak periodikusan, rácsponatokon vannak elhelyezve. Modellünket kiterjesztettük szabálytalan (ellipszis) keresztmetszetű szénszálakra is. Szabálytalan szálsűrűségű struktúrák esetében síkbeli és síkra merőleges irányok szerint különválasztva vizsgáltuk az anyagot, továbbá egy valószínűségi modellt is kifejlesztettünk, melyben az elemi szálak véletlen érintkezéseiből juthatunk el a homogenizált anyagparaméterekhez.

Sallai Igor

*Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Elektronikai Technológia Tanszék*

Modern biofizikai módszerek fejlesztései egyedi élő sejtes vizsgálatokhoz

Kutatásom fókuszában ellenanyag közvetített effektor funkciók vizsgálata, plazmonikus bioszenzor fejlesztés és folyadék forgatásos nyíróerő kondíciók sejtválasz befolyásoló hatásának vizsgálata állt. A monoklonális antitestekkel történő ellenanyagkimutatás elterjedt módszer az adott betegség során megjelenő ellenanyagok mennyiségi és minőségi elemzésére, de nem szolgáltat információt az ellenanyag közvetített effektor funkciókról. Egy olyan módszer, amely sejtes immunválasz útján mutatja ki a szervezetben megjelenő ellenanyagokat, dinamikus képet ad az ellenanyag mediált effektor funkciókról és nem visz be plusz jelölő komponenst a mérési rendszerbe. Erre fókuszálva fejlesztettem immunfunkcionális diagnosztikai módszereket munkám során. A szenzorfelületre rögzített ellenanyagok szelektíven aktiválják célsejtjeiket: az intravénás immunglobulin (IVIG) az Fc-receptorral rendelkező sejteket, az anti-CD3 a T-limfocitákat, az anti-CD4 és anti-CD8 a helper, illetve citotoxikus T-sejteket, míg az anti-Ig és anti-CD19 a B-limfocitákat. Az irányított sejtdhézió után másodlagos antitestek aktiváló hatását és az alkalmazott ellenanyagok - CD markerekhez történő - bekötődését mutattam ki. Elemeztem a rögzített IVIG-en létrejövő komplement depozíció sejtaktiváló hatását is, a sejtdhéziót kísérő egyedi hullámhossz eltolódás mérésével. Vizsgáltam az Rheumatoid arthritis (RA) diagnosztikájában fontos citrullinált és arginilált peptideket. A szenzorfelületen rögzített peptidekből és a betegek szérumában lévő autoantitestekből (köztük az anti-citrullinált fehérje elleni antitestekből) in vitro immunkomplexekeket hoztam létre, elemezve azok hatását a perifériás leukociták aktivációjára. A bioszenzoros módszereink validálására és az aktiválódott sejtek jelölésére immuncitokémiai és hematológiai festési protokollokat dolgoztam ki. A flureszcens és brightfield mikroszkópos felvételek elemzéséhez egy kiértékelőt fejlesztettem, amellyel lehetőség nyílik a sejtek szegmentációjára és a mért integrált és átlagos fluoreszcencia elemzésére egyedi sejt szinten. A piezoelektromos elven működő számítógép vezérelt mikropipetta alkalmas műszer a felületre kitapadt sejtek izolálására. Alkalmazásával az oldatban megjelölt ritka leukocita szubpopulációk válogatását hajtottam végre. Kidolgoztam egy bioszenzor-kompatibilis, változtatható forgatási frekvenciájú folyadékkezelési eljárást, amely mechanikai stresszt idéz elő a sejtválaszok impulzusalapú elemzéséhez. Ehhez egységes keretrendszert hoztam létre a nyíróerők által kiváltott sejtdhéziós válaszok vizsgálatára. A műszerfejlesztés során egy korábbi, biomolekuláris mérésekre optimalizált SPR-készüléket (BME-VIK ETT) nyalábosztóval és nagyfelbontású Raspberry Pi HQ kamerával egészítettem ki. Ez a kétkamerás elrendezés megnövelt laterális felbontást és egyedi sejtszintű analízist tesz lehetővé.

Sepsik Norman

*Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Elektronikus Eszközök Tanszék*

Nanoszálas szövetedéket tartalmazó mikrofluidikai eszközök

A gyógyszerfejlesztés preklinikai szakaszában kiemelt jelentőségű a jelölt hatóanyag molekulák szervezeten belüli sorsának, különösen a májban zajló metabolikus átalakulásoknak a vizsgálata. A máj elsődleges szerepet játszik az idegen anyagok lebontásában, amely folyamat nagymértékben befolyásolja a hatóanyagok biológiai hozzáférhetőségét, hatásosságát és biztonságosságát a szervezeten belül. A jelenleg alkalmazott in vitro modellek - például máj sejtes (hepatocita) kultúrák, máj mikroszómák vagy rekombináns citokróm P450 (CYP450) enzimek - bár széles körben elterjedtek, számos korláttal rendelkeznek költség, stabilitás és áteresztőképesség tekintetében. A kutatásom során egy olyan mikrofluidikai rendszer fejlesztésén dolgozom, ami jelenleg használt in vitro modelleket kiegészítve, nagy áteresztőképességű és automatizálható hatóanyag szűrést tesz lehetővé. A rendszer alapjául egy metalloporfirin tartalmú nanoszálas kompozit szolgál, amely biomimetikus módon képes modellezni a májhoz kötött oxidatív gyógyszer-metabolizmust. A kutatás során a nanoszálas kompozit rendszert elektrosztatikus szálképzéssel reprodukáltam, majd integráltam egy saját tervezésű 3D nyomtatással előállított mikroreaktor kazettába, melynek reakciókamráját áramlástan szimulációval optimalizáltam és a két különböző elrendezésben demonstrációs méréseket végeztem el.

Stift Máté Kálmán

*Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Elektronikai Technológia Tanszék*

In situ optikai felületvizsgálati módszerek fejlesztése szenzorikai, elektrokémiai és vékonyréteg leválasztási folyamatok követésére

Az ivóvízben jelenlévő nehézfémionok komoly egészségügyi kockázatot jelentenek, miközben a terepi ellenőrzéshez széles körben alkalmazott, színreakción alapuló gyorsesztek állnak rendelkezésre, amik olcsók ugyan, de kevésbé megbízhatóak, mint egy elektrokémiai elven működő szenzor lenne, továbbá szakképzett munkaerőt igényelnek a kiértékelési folyamat során. Munkám célja egy olyan optikai-elektrokémiai hibrid szenzorplatform megalkotása, amely arany-nanorészecskékkel borított mintákon, genetikailag módosított fehérjék immobilizációjának segítségével kvantitatív, elektronikusan feldolgozható jelet biztosít nehézfémionok oldatban való jelenléte esetén.

A kutatás központi eleme egy integrált, in situ optikai felületvizsgálati rendszer, amelynek keretein belül spektroszkópiai ellipszometriát kombinálok egy háromelektrodos elektrokémiai cellával. Arannyal párologtatott szilícium hordozók felületén kronoamperometriával és ciklikus voltammetriával rögzíték aranynanorészecske-rétegeket, majd ezen rögzítettem a nikkellionok kötésére optimalizált, biológiailag módosított fehérjefilamentumokat. Az ellipszometriai eljárás előnye, hogy valós időben, nanométeres érzékenységgel követhetőek a minta felületén lejátszódó rétegépülési mechanizmusok, amelyek az elektrokémiai kezelés hatására bekövetkező redoxfolyamatoknak köszönhetően valósulnak meg. A mért spektrumokat Python-alapú, Bruggeman-Cauchy effektív közegmodelleket alkalmazó saját kiértékelő kóddal illeszttem, így az ellipszométer gyártójának saját szoftverével valósítható meg a rugalmasan testreszabható adatfeldolgozás.

A fejlesztés várható eredménye egy olyan módszertani platform, amely nemcsak a jelenleg vizsgált, nikkellionokhoz tervezett szenzorstruktúrák optimalizálását teszi lehetővé, hanem további nehézfémionok és biomolekuláris célpontok (például környezeti szennyezők vagy diagnosztikai biomarkerek) vizsgálatára is adaptálható. A kialakított érzékelő megbízható alapot teremthet hordozható, terepen is használható eszközökhöz, amelyek a jelenlegi színreakciós tesztcsíkokkal szemben teljes mértékben objektív, reprodukálható információt szolgáltatnak a vízminőségről, kiváltva a laborháttér és a magas szintű szaktudás szükségességét.

Székely László

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamos Energetika Tanszék

Több fokozatú elektrosztatikus szeparálási rendszer kidolgozása szennyezett polimer hulladék újrahasznosíthatósága érdekében

A villamos hálózatban alkalmazott közép- és nagyfeszültségű kábelek élettartamuk végén jelentős mennyiségű, nagy tisztaságú polimer szigetelőanyagot tartalmaznak, amelyek újrahasznosítása környezetvédelmi szempontból kiemelt jelentőségű. A kábelek szerkezeti felépítése azonban speciális újrahasznosítási kihívásokat jelent. A nagy átmérőjű vezető miatt a kábelek nem apríthatók teljes szerelvényként; először eltávolítják a fém vezetőt és csak a fő szigetelés (előnytelen esetben a kábelköpeny is) kerül darálásra. A legnagyobb problémát nem a vezető és a szigetelés szétválasztása jelenti, hanem a fő szigeteléshez tapadó félvezető rétegek eltávolítása. A maradó félvezető szennyezés különösen kritikus, mivel jelentősen rontja az újrahasznosított szigetelőanyag átütési szilárdságát.

A darálást követő szemcseméret-eloszlás vizsgálatok kimutatták, hogy még a legfinomabb frakciók is elegendően nagy méretűek ahhoz, hogy számottevően lerontsák a dielektromos tulajdonságokat, ami a nagy hatékonyságú szeparáció szükségességét hangsúlyozza. Sűrűség alapú szeparációs kísérletek igazolták, hogy megfelelő sűrűségű oldatok alkalmazásával viszonylag tiszta XLPE szigetelés nyerhető; ugyanakkor a módszer számos hibalehetőségekkel terhelt és ipari léptékben túl lassú.

A szemcsék villamos paramétereinek mérési eredményei szerint a triboelektromos töltésfelhalmozódás/szétválás nem eredményez kellően nagy töltéskülönbséget a szigetelő és a félvezető darálék-szemcsék között ahhoz, hogy hatékony villamos térbeli szeparáció valósuljon meg. Nagyfeszültségű elektródákkal végzett további vizsgálatok kimutatták ugyan mérhető elektrosztatikus hatásokat, azonban az adhézió alapuló elválasztás nem bizonyult hatékonynak. Ezzel szemben a koronakisülésen alapuló elektrosztatikus szeparáció során jól elkülöníthető jelenség volt megfigyelhető, amely lehetővé tette a tiszta félvezető anyag és a félvezető maradványokkal szennyezett szigetelés hatékonyabb differenciálását.

Mivel az elektrosztatikus erők szorosan összefüggnek a részecskék töltésszaturációjával, a kutatási munka egy impulzusüzemű nagyfeszültségű szeparációs rendszer alkalmazását javasolja. Ez lehetővé teszi nagy töltéssűrűség létrehozását a villamos átütés kockázatának minimalizálása mellett, ezáltal növelve a szeparáció hatékonyságát. Az eredmények hozzájárulnak a nagyfeszültségű kábelek fő szigetelő anyagainak gazdaságos és nagy tisztaságú újrahasznosításához, támogatva a körforgásos gazdaság célkitűzéseit az energetikai szektorban.

Tafferner Zoltán

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Elektronikai Technológia Tanszék

Újszerű, fenntarthatóbb megoldások az elektronikai szereléstechológiában

Az elektronikai eszközök méretének csökkentése egy évtizedek óta tartó folyamat, mely segít az elektronikai szerelvények funkciósűrűségének növelésében. A csökkenő méretek azonban új problémákat vetnek fel. A kisebb áramköri elemek kisebb forraszkötéseket is jelentenek és az áramterhelés nem csökkent arányosan az eszközök méretével. Megjelent a forrasztott kötések esetén is az elektromigráció, mely üregképződést, réz beoldódást, intermetallikus vegyület képződést, többfázisú forrasztanyagok (Sn-Bi, Sn-Pb) esetén a fázis-elkülönülést okozhat. Hosszútávon ezek a kötés mechanikai gyengüléséhez vezetnek, extrém esetekben törés, vagy lokális megömlés is előfordulhat.

Az elektronikában jelenleg legszéleskörűbben használt forrasztótvözet a SAC305 (ón-ezüst-réz, Sn-3Ag-0,5Cu), azonban ennek a forrasznak olvadáspontja 210 °C körüli. Előfordulnak olyan alkalmazások (speciális alkatrészek, hordozók), melyek alacsonyabb forrasztási hőmérsékletet igényelnek, ilyenek például a fenntartható elektronikában alkalmazott szerelvények is. A lebontható hordozók (pl. politejsav alapú, len-szálerősítésű hordozók) gyakran alacsonyabb hőmérsékleteket viselnek csak el, mint az FR-4, ezért nem forraszthatók SAC típusú forrasszal. Az alacsonyabb olvadáspont energiahatékonyabb is, hiszen egy ciklusban kevésbé kell felmelegíteni a forrasztókemencét. Az Sn-57Bi-1Ag (ón-bizmut-ezüst) forrasz olvadáspontja 140 °C körüli, ami egy lehetséges alternatívává teszi. Ahhoz, hogy a két forrasztótvözet felválthassa egymást, szükséges, hogy az Sn-Bi-Ag forrasztokat is vizsgáljuk. A szakirodalomban jelenleg hiányoznak az olyan kísérletek, melyek a két forrasztanyagot azonos körülmények közt vizsgálják elektromigrációs szempontból.

Jelen pályázat egyik célja annak összehasonlítása, hogy az Sn-57Bi-1Ag és SAC305 forrasztok elektromigráció szempontjából hogyan viselkednek azonos környezetben, ezzel egy jelentős űrt töltve be a szakirodalomban. A vizsgálatokhoz egy 0 Ω -os ellenállásokból álló daisy-chain elrendezés került kialakításra RO4350B hordozón, 0402 és 0201 alkatréz méretben. A beültetéshez SAC305 és Sn-57Bi-1Ag forrasztanyagokat alkalmaztam. Alkatrész- és forrasztípusonként összesen 150 ellenállás lett beültetve (ami a teljes mintaszámot tekintve 600 db). Ez egy jelentős mennyiség, melyből akár statisztikai megfigyelések is levonhatók. A minták 0, 500, 1000, 2000, 3000, 4000 h terhelés után voltak vizsgálva keresztcsiszolatok pásztázó elektronmikroszkópiájával (10 ellenállás/terhelési idő/csoport) és nyírási szilárdság tesztekkel (15 ellenállás/terhelési idő/csoport). Az eredményekből következtetni lehet a forrasztanyagok ellenállóságára elektromigrációval szemben.

Az elkészült teszt eszközökhöz végeelem-modellt is készítettem, hogy kizárhatók legyenek az egyéb hatások, amik a vizsgálatok során tapasztalt eltéréseket okozhatták. Az elektromos szimuláció valóban azt mutatja, hogy az áramsűrűségcsúcsok ott alakulnak ki, ahol a keresztcsiszolatokon mikrostruktúra-elváltozások láthatók.

HÁLÓZATOK, FELHŐ- ÉS KVANTUMKOMMUNIKÁCIÓ

Czermann Márton

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

Kvantum-kulcsszétosztás alkalmazhatósága modern kommunikációs rendszerekben

A jövő kvantumkommunikációs hálózatának egyik alappillére a kvantum-kulcsszétosztó megoldásokat implementáló fizikai réteg lesz, amely lehetőséget ad érzékeny információk fizikai alapokon nyugvó, szimmetrikus kulcsokkal történő titkosítására. Ezek jelenleg pont-pont kapcsolatok, melyekből akár több csomópontú linkek, nagyobb hálózatok, de akár országokon, vagy kontinenseken átívelő kapcsolatok hozhatók létre. Egy ilyen, átfogó fizikai réteg különböző szegmensein eltérő megoldások használatát kívánja meg, s ennek megfelelően rendelkezésünkre állnak optikai szálak, szabadtéri, vagy akár műholdas QKD implementációk, ha az átviteli közeget vesszük típusát alapul. Protokoll szempontjából elkülöníthetünk diszkrét és folytonos változójú kvantum-kulcsszétosztást, de maga a kvantumbitek előállításának szempontjából is lényeges különbség lehet közöttük, hiszen egy részük kihasználja a kvantumösszefonódás jelenlégét erre a célra, miközben sok másik, széles körben elterjedt protokoll mellőzi azt (vagyis az ún. előkészít-és-megmér típusú protokollcsaládba tartozik).

Munkám során egy optikai szálak, előkészít-és-megmér típusú, valamint egy szabadtéri, összefonódás alapú QKD rendszer megépítésében és fejlesztésében vettem részt az Ericsson és a BME mérnökeivel közösen, így egy jelentős részét vizsgálva a szakterületnek. Célom az, hogy iránymutatást adjak ezeknek a jelenleg drága és speciális implementációs környezetet megkívánó kvantumösszefonódásos megoldásoknak a gyakorlati hasznosíthatóságához. Illeszkedve a modern infokommunikáció világához vizsgáltam többfelhasználós megoldásokat és ezek skálázhatóságának feltételeit hullámhossz- és időosztásos eljárásokban. Végeztem kísérleteket, melyekkel a szabadtéri QKD lehetősége beltérben és városi környezetben egyaránt demonstrálható. A rendszerekhez szinkronizációs megoldásokat és automatikus paraméter optimalizáló eljárásokat fejlesztettem és teszteltem, mind gyakorlati, mind tudományos szempontból. Ezen eredményeim köré szervezve az előadásomat szeretnék rámutatni arra, hogy a kvantum-kulcsszétosztó rendszerek gyakorlatban történő alkalmazhatósága valójában közelebb áll, mint gondoljuk.

Ficzere Dániel

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Távközlési és Mesterséges Intelligencia Tanszék

Intent-Based Networking: a szándék fordításon túl

A szándékalapú hálózatkezelés (Intent-Based Networking, IBN) célja, hogy a hálózatok üzemeltetése a hagyományos, eszközszintű konfiguráció helyett magas szintű, deklaratív szándékok alapján történjen. Bár az elmúlt években jelentős előrelépés történt a természetes nyelven megfogalmazott szándékkifejezések automatikus értelmezésében és hálózati konfigurációvá alakításában, a kutatások túlnyomó része továbbra is elsősorban a szándékfordítás problémájára koncentrál. Ezzel szemben a szándékok érvényesítése, a közöttük fennálló szemantikai, logikai, időbeli vagy erőforrás-alapú konfliktusok felismerése és kezelése továbbra is a szándékalapú hálózatkezelés egyik legfontosabb nyitott kérdése. Kutatásom ebből a problémából indul ki és azt vizsgálja, hogyan lehet a szándékalapú hálózatkezelést a fordításon túl egy teljesebb, ellenőrizhetőbb és megbízhatóbb életciklus mentén értelmezni.

A kutatás egy olyan egységes keretrendszer kialakítására törekszik, amely összekapcsolja a természetes nyelvű szándékkifejezések hálózati konfigurációvá alakítását, azok szintaktikai és szemantikai validációját, valamint az egymással ellentmondásban álló szándékok automatikus azonosítását. A megközelítés egyik pillére a nagy nyelvi modellek és a RAG-alapú módszerek alkalmazása a YANG-alapú NETCONF konfigurációk előállítására, míg a másik pillér a gráf- és tudásgráf-alapú reprezentáció, amely lehetővé teszi a szándékok, a hálózati állapotok és a közöttük fennálló függőségek formális, szemantikailag értelmezhető modellezését. Ebben a szemléletben a szándékalapú hálózatkezelés nem egyszeri fordítási feladatként, hanem folyamatos, zárt hurkú optimalizációs és biztosítási folyamatként jelenik meg, ahol a rendszer nemcsak végrehajtja, hanem értelmezi, ellenőrzi és összehangolja is a párhuzamosan megjelenő szándékokat. A kutatás várható eredménye hozzájárulhat megbízhatóbb, autonómabb és iparilag is jobban alkalmazható megoldások kialakításához, különösen összetett, több szereplős és heterogén hálózati környezetekben.

Karsa Zoltán István

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Irányítástechnika és Informatika Tanszék

Erőforrások hatékony elosztása felhő környezetben

A felhő alapú szolgáltatások megjelenésével mind az alkalmazásfejlesztés, mind az alkalmazás üzemeltetés gyökeresen megváltozott. A cloud native és a serverless elvek megjelenésével a fejlesztők a probléma megoldására koncentrálhatnak és nem kell elveszniük az üzemeltetés részleteiben. A folyamatos fejlődés, változás nem mindig eredményez összekapcsolható, kompatibilis megoldásokat, pedig a szolgáltatásokat felhasználók érdeke az lenne, ha a szolgáltatások között szabadon választhatnának.

A különböző felhőszolgáltatók előszeretettel publikálnak Infrastructure as Code (IaC) alapú interfészt a szolgáltatásaik eléréséhez és kezeléséhez, amivel az automatizáció könnyen megvalósítható. Ez a technika alkalmas lehet a cloud broker-ek számára egy híd szerep betöltésére, ami elfedi az egyes szolgáltatók közti különbségeket. Megvalósítottam a CIRCLE egyetemi felhőrendszer IaC-alapú bővítését, amely lehetővé teszi a virtuális infrastruktúrák automatizált, reprodukálható és skálázható kezelését. Az eredmények azt mutatják, hogy az IaC használata jelentősen csökkenti az adminisztratív terheket, támogatja a komplex oktatási laborok és kutatási környezetek gyors létrehozását, és egységes, nem grafikus kezelőfelületet biztosít az infrastruktúra menedzseléséhez. Mivel az egyetemi cloud szolgáltatást elsősorban oktatási és kutatási célokra használják a terhelés kevésbé egyenletesen oszlik el, jellemzően a hirtelen nagy számú erőforrásindítási kérelem miatt. A fejlesztett szerver folyamatosan méri az egyes adatközpontok erőforrás-kihasználtságát, és az új VM-indítási kéréseket különböző terheléelosztó algoritmusok alapján osztja szét közöttük. Egy saját, First Fit Decreasing (FFD) elven működő algoritmust dolgoztam ki, amely heterogén adatközpontok esetén is hatékonyan képes közel egyenletes terhelést biztosítani.

Az egyetemi cloud rendszerek azonban nemcsak infrastruktúra-oldalon jelentenek kihívást, hanem az ezekre épülő oktatási folyamatok támogatása terén is. A nagyszámú hallgató, az eltérő feladatmegoldások és a korlátozott oktatói kapacitás szükségessé teszik az automatizált értékelési és támogatási módszerek vizsgálatát is. Az oktatási feladatok miatt hatékony pontozási megoldást kerestem olyan esetekben, ahol a forráskód nem fordítható és futtatható valamilyen szintaktikai hiba miatt, ugyanakkor így is a részmegoldások pontot jelenthetnek. A kézi kiértékelés nagyon lassú és költséges, valamint változó az oktatótól függően. A kutatásaim során négy nagyméretű nyelvi modellt használtam pontozásra, és több mérőszám segítségével értékeltem azok helyességét, ezek hatékony megoldásnak mutatkoztak. Ezek egyike saját felhő infrastruktúráján on-premise használható.

Maller Levente Márk

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

Understanding and Predicting Performance of Cloud-Native Network Functions in Heterogeneous Edge Deployments

5G (and emerging 6G) core networks increasingly adopt cloud-native, service-based architectures where Network Functions run as containerized microservices orchestrated by Kubernetes on commodity servers. Deploying selected functions at the network edge (e.g., close to the Radio Access Network) can reduce latency and improve traffic distribution, while enabling specialized latency-sensitive applications (e.g., services relying on the V2X Application Enabler layer concept specified in 3GPP TS 23.286). However, cloud deployments complicate performance predictability: KPI behavior is shaped by complex interactions between NF software, the underlying hardware platform, and contention on shared resources. The 3GPP-standardized User Plane Function (UPF) is particularly critical, as it handles packet forwarding between user equipment and data networks. In practice, operators often rely on conservative, peak-based dimensioning and static resource allocation, since reproducing representative workloads and validating performance across configurations and hardware platforms is operationally challenging and expensive, and the relationship between low-level telemetry and application-level KPIs remains insufficiently characterized.

Motivated by these challenges, this research investigates telemetry-driven performance modeling of cloud-native network functions. As a significant milestone, we investigate UPF performance in single-node, edge-like environments across heterogeneous CPU architectures. We ask whether low-level, multi-layer measurements can be transformed into platform-agnostic descriptors that remain informative across multiple server types. We deploy identical UPF configurations and traffic methodologies across distinct hardware platforms, collecting multi-layer telemetry that spans application KPIs, container and Kubernetes metrics, OS scheduling effects, and hardware performance counters. A measurement pipeline time-aligns, cleans, aggregates, and normalizes these metrics into unified descriptors capturing mechanism-level properties (e.g., execution efficiency and memory-hierarchy locality normalized by capacity) rather than platform-specific raw values.

Mihály András

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

Dinamikus kvantumkommunikációs hálózati architektúrák szimulációja és elemzése

A kvantuminformatika fejlődésével párhuzamosan egyre nagyobb figyelem irányul a kvantumhálózatokra, amik a jövőbeli kvantuminternet alapját képezhetik. A hálózatok hatékony működéséhez elengedhetetlen a kvantumállapotok tárolását és szinkronizálását lehetővé tevő kvantummemória, valamint a hálózatban lévő összefonódások kezelésére alkalmas útvonalkereső algoritmusok fejlesztése. A kutatásom fő célja, a kvantumhálózatok modellezése és szimulációja, különös tekintettel a memóriakapacitás korlátjaiból fakadó teljesítményproblémákra és a dinamikus műholdas hálózatok topológiájára.

A kutatás egyik fő eredményeként egy új segédalgoritmus kerül bemutatásra, amely a kvantummemóriákban tárolt, az útvonalkeresés után fennmaradó, felhasználatlan összefonódásokat hasznosítja fel, összefonódáscsere segítségével. Az algoritmus gráfelméleti eszközökre épül mely segítségével összefonódás-párokat választ ki a cserék végrehajtásához. Az algoritmus biztosítja, hogy a választott párok között nincs metszés így a cserék lokálisak és más cseréktől függetlenek maradnak, így könnyedén bevezethetőek különböző súlyozások és tetszőleges útvonalkereső sémával is kombinálható. A módszer hatékonyságát statikus és dinamikus hálózatokon végzett szimulációk igazolják.

A kutatás második fő eredménye a műholdas kvantumhálózatok idővariáns gráfok segítségével történő elemzése. Az idővariáns megközelítés lehetővé teszi, hogy különböző kvantummemória-méretek mentén a hálózat idővariáns gráfját statikus reprezentációra egyszerűsítsük, így a hálózat topológiai és összeköttetési tulajdonságai hatékonyan vizsgálhatók anélkül, hogy a teljes időbeli dinamikát explicit módon kellene kezelni.

Oláh Kitti

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

Kvantuminternettel kapcsolatos megoldások vizsgálata vezetékes és szabadtéri környezetben

A 20. század elején a klasszikus fizikától eltérő szemléletmód gyökeres változást hozott a természettudományokban, amelynek eredményeként megszületett a kvantummechanika. Einstein, Planck, Schrödinger és kortársaik munkássága nemcsak az alaputatásokra volt meghatározó hatással, hanem napjainkban zajló második kvantumforradalom fejlődési irányaira is. A kvantummechanika eredményei mára számos tudományterületen alkalmazásra kerülnek, többek között a kvantumkémiaiban, kvantummetrológiában és a kvantumkommunikációban. Ezzel párhuzamosan intenzív kutatások folynak a kvantumszámítógépek fejlesztése és az azokat összekötő kvantumhálózatok, azaz a jövőbeni kvantuminternet megvalósítása érdekében. A kvantum-számítástechnika és kvantumkommunikáció alapegységei a kvantumbitek, amelyek fizikai implementációja lehet elektron- vagy magspin, illetve fotonok polarizációja. A kvantumkommunikáció egyik legnagyobb előnye a klasszikus rendszerekkel szemben a megnövelt biztonság, mivel a kvantumállapotok rendkívül érzékenyek a külső zavaró hatásokra, így egy esetleges lehallgatási kísérlet sokkal hamarabb detektálható. Ennek megvalósításához azonban olyan kvantumkommunikációs csatornák tervezése szükséges, amelyek minimalizálják a dekoherenciát és egyéb zajforrásokat. A szárazföldi, üvegszál-alapú kvantumkommunikáció nagy távolságokon jelentős polarizációtorzulást szenved, még polarizációtartó optikai szálak alkalmazása esetén is, továbbá jelcsillapodás is fellép. E problémák kiküszöbölésére ígéretes megoldást jelenthetnek a műholdas kvantumkommunikációs architektúrák, ahol a légkörön kívüli terjedés során kevesebb dekoherenciaforrás lép fel. A kutatásom célja olyan LEO-pályákon elhelyezkedő műhold-konstelláció vizsgálata, amelyekben a kvantummemóriák megbízható csomópontként működnek. A kutatás középpontjában a különböző kvantummemória-platformok alkalmazhatóságának vizsgálata áll, különös tekintettel azok koherencia idejére, hűségére és hatékonyságára, amelyek alapvetően meghatározzák a hálózat teljesítményét, különösen ritka konstellációk esetén. Ennek keretében vizsgálatra kerül, hogy az egyes kvantummemóriák milyen feltételek mellett képesek támogatni az összefonódás-alapú kvantumkommunikációs protokollokat - például az összefonódás-cserét - és ezáltal hozzájárulni a jövőbeni kvantuminternet megvalósításához.

Simon Zoltán

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Irányítástechnika és Informatika Tanszék

Kvantummechanikai hullámfüggvény időbeli fejlődésének szimulációja 3D térben

A kvantummechanikában a zárt rendszerek állapotát a hullámfüggvény írja le, időfejlődését pedig a Schrödinger-egyenlet határozza meg. Az egyenlet Fourier-transzformáción alapuló hatékony numerikus megoldását 1982-ben dolgozták ki, majd 2020-ban Márk Géza István alkalmazta kétdimenziós szimulációs programban. A HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpontban korábban CPU-alapú számításokat végeztek, munkánk során azonban modern GPU-architektúrákra optimalizált, jelentősen gyorsabb implementációt fejlesztettünk, amelyet korszerű vizualizációs eszközökkel egészítettünk ki. Az eredmények lehetővé teszik összetettebb nanostruktúrák vizsgálatát és hatékonyabb numerikus módszerek alkalmazását; a fejlesztés a 37. OTDK-n különdíjat nyert és több szakmai fórumon is bemutatásra került.

A kvantumos leírás kiterjesztéseként kutatásunk kiterjedt sokatomos rendszerek vizsgálatára alkalmas molekuladinamikai (MD) szimulációkra is. Ezek a módszerek atomi szinten szolgáltatnak információt a molekulák szerkezetéről, dinamikájáról és termodinamikai tulajdonságairól, így számos, kísérletileg nehezen hozzáférhető fizikai, kémiai és biológiai folyamat tanulmányozását teszik lehetővé. Áttekintettük az MD szimulációk főbb numerikus és számítási kihívásait - különösen a hatékonyság és a pontosság kérdését - és elemeztük a translációs és rotációs szabadsági fokok mozgásegyenleteinek megoldására alkalmazott korszerű integrációs eljárásokat.

A szimulációs feladatok támogatására saját, C++ nyelven fejlesztett lineáris algebra könyvtárat is készítettünk, amely fordítási idejű optimalizálást és lusta kiértékelést biztosító expression template megközelítést alkalmaz. A könyvtár támogatja az algebrai kifejezések analitikus deriválását is, amely hatékony eszközt nyújt numerikus optimalizálási és szimulációs problémák megoldásához.

Az ismertetett fejlesztések egységes numerikus és számítási keretrendszert alkotva járulnak hozzá az atomi léptékű rendszerek mélyebb megértéséhez, elősegítve az anyagtudományi és nanoszerkezeti kutatásokat.

Szabó Marcell

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Távközlési és Médiainformaticai Tanszék

Designing and optimizing AI- and cloud-native data pipelines

As the widely cited phrase states, "Data is the new oil," underscoring its critical role in modern computing. The demand for efficient data management, particularly in processing, has driven significant advancements in the IT field. The emergence of mature cloud computing and the rapid progress of AI have introduced transformative tools that redefine traditional solutions. My research focuses on the design and optimization of AI- and cloud-native data pipelines for processing and transporting spatio-temporal data across two key domains: intelligent transportation and telecommunications software development.

In the transportation domain, my study investigates the creation of high-definition (HD) maps from community-sourced data. Given the real-time requirements of this process, strict latency and bandwidth constraints must be met to ensure timely data processing and result generation within human reaction limits. The system integrates heterogeneous data sources, including camera images, video, IMU, radar, and LiDAR, where spatial aspects are paramount. To address these challenges, optimizing processing placement and AI-driven methodologies is essential. The economic viability of such system is also studied, as participation cannot be naturally assumed, given that participant may have different rationality criterions.

In the telecommunication software domain, my research explores AI-driven anomaly detection in CI/CD pipelines, with a focus on automated log analysis within Jenkins-based workflows. As precise failure detection is extremely dependent on contextual information, leveraging graph-based knowledge representations helps to incorporate automated, non-hallucinating AI agents that perform predictive maintenance via reasoning.

This research makes significant contributions to both the theoretical and practical aspects of AI-driven data pipeline optimization in diverse domains. By tackling challenges like real-time data processing, heterogeneous data integration, and context-aware anomaly detection, it seeks to enhance the efficiency, reliability, and scalability of modern computational systems.

Vajda Dániel László

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

Mesterséges intelligencia alapú anomália detekció hálózati telemetria adatokon

A járműsebesség-idősorok nemlineáris és nemstacionárius jellege miatt a klasszikus Fourier-alapú spektrális elemzés elméletileg megalapozatlan és sok esetben félrevezető vagy nehezen értelmezhető. Ugyanakkor a sebességjel periodikus tartalma (gyorsítás-lassítás ciklusok, forgalmi és úthatások, jármű- és vezetői visszacsatolások) értékes dinamikai információt hordoz. Munkámban személyautókból származó sebességadatokon vizsgálom a Variational Mode Decomposition (VMD) eljárást, amely kifejezetten alkalmas a nemlineáris és nemstacionárius jelek elemzésére. A VMD algoritmus a bemeneti idősort sávkorlátos jelek, ún. módusok összegére bontja és minden módushoz középfrekvenciát rendel.

Valós járműadatokban a periodikus jelleg időben változik, miközben a mérési lánc tipikus bizonytalanságai (egyenetlen mintavételezés, kimaradó minták és mérési zaj) miatt a frekvenciatartománybeli eszközök nehezen adnak stabil, fizikailag is értelmezhető jellemzőket. A kapcsolódó irodalomban a periodikus összetevők feltárására gyakran alkalmaznak Fourier-transzformáción alapuló módszereket, azonban ezek autós idősorokon érzékenyek a nemlinearitásokra. A VMD ígéretes alternatíva, de gyakorlati használatához elengedhetetlen az adatok előkészítése, különösen az állandó mintavételi idő biztosítása.

Kutatásom során VMD-re épülő eljárást terveztem, mely automatikusan azonosítja a monoton sebességváltozású szegmenseket, egységes időalapra hozza az adatokat interpolációval és újrámintavételezéssel, majd egyszerű simítással mérsékli a zaj hatását. Ezt követően a VMD-felbontásból kapott módusokat energiatartalom alapján rendezi, elkülöníti a trendjellegű komponenst és a periodikus információt hordozó módusokból karakterisztikus időskála-jellemzőket képez, amelyeket a szakaszok hosszával vet össze. Ezzel az eljárással lineáris kapcsolatot azonosítottam a sebesség adatokban található gyorsulási szakaszok időtartama és a VMD által kapott középfrekvenciák inverze között.

Kontrollkísérletekben, szimulált gyorsítási profilokon bemutatom, hogy ezek az időskála-jellemzők következetesen együtt változnak a gyorsítási időtartamokkal és számszerűsítem, hogyan rontja ezt a kapcsolatot az egyenetlen mintavételezés, a hiányzó minták és a zaj. Valós, CAN-buszon gyűjtött személygépkocsi-adatokon az előfeldolgozás után ugyanez a tendencia stabilan megjelenik, ami egyszerű, jól interpretálható jellemzők bevezetését teszi lehetővé vezetési mintázatok összehasonlításához, valamint későbbi anomáliadetekciós feladatok támogatásához.

MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ÉS ADATTUDOMÁNY

Barcza Bende

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Irányítástechnika és Informatika Tanszék

AI alapú felismerés és előrejelzés a földborítás változásairól generatív mesterséges intelligencia segítségével

Földfelszín megfigyelése és az abból származó adatok elemzése egy régre visszanyúló feladat, melynek célja, hogy következtetéseket tudjunk tenni hazánk termőföldjeinek hatékonyságára, várható termésekre, építkezésre előnyös földek meghatározására, vagy akár biztosítási kárfelmérés előrejelzésére. Az előzőekben felsoroltak predikciójának pontossága pedig nagyban függ a használt modellek hatékonyságától, azoknak a rendelkezésre álló adataitól, valamint a predikciót meghatározó előismeretek megszerzésétől, vagyis a tanítási metódusoktól. A klasszikus képfeldolgozási megoldásokat a napjainkban nagyban felülmúlták mesterséges intelligencia modern megoldásait alkalmazó multimodális modellek. Architektúrális fejlettségükre bizonyosságot tettek a Nagy Nyelvi és Képi Modellek elterjedése és széleskörű felhasználása. Földmegfigyelésben való alkalmazásuk a többmodalitásuknak, vagyis a változatos bemenet értelmezhetőségének köszönhetően képes összetettebb, írásosan kifejtett elemzést adni a vizsgált eseményre/adatokra.

Célként kitűzött feladatom, hogy növény típusokat, akár azok jellemzőinek megismeréséből képes legyen értelmezni, elsősorban írásos módon, majd azt egy térbeli eloszlási függvény segítségével megjelenítse és kirajzolja a térképen. Kezdeti vizsgálataim a földmegfigyelési szakirodalomban bemutatott alapmodellekre (foundation models) vonatkozik, ahol is kiválasztom a célfelhasználás szempontjából előnyösebb tulajdonságokkal rendelkezőt. A vizsgálatokat a látens és koordináta rendszerek egymásba transzformálását tartalmazza. A látens terek elemzése a modellek megfelelő bemeneti adatok értelmezéséről ad visszajelzést, összehasonlításuk segíti a jobb tulajdonságú modell identifikációját.

A sikeres kiválasztás után saját modell építésével térbeli valószínűségi eloszlások generálása, köztes látens térbeli információkból következtetve. Ezek szemantikailag képesek értelmezni a modalitásokból származó információkat és azokat megfelelő módon közös térből mintavételezve generálják a kérdező számára fontos információkat.

Gedeon Máté Károly

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Távközlési és Mesterséges Intelligencia Tanszék

Alacsony késleltetésű, neuronháló-alapú beszédfelismerés átfedő beszédre valós idejű alkalmazásokhoz

A spontán, több beszélős beszélgetések pontos gépi leiratozása továbbra is komoly kihívást jelent a beszédfelismerő rendszerek számára az olyan jellegzetességek miatt, mint az egymásra beszélés, vagy a közbeszólások. Ennek következtében azok a modellek, amelyeket elsősorban tiszta monológokat tartalmazó beszédanyagon tanítottak, gyakran nehézségekbe ütköznek természetes, többszereplős beszélgetések feldolgozása során, ahol előfordul egyidejű beszéd vagy gyors beszélőváltás. Ez különösen igaz olyan nyelveken, ahol a magyarhoz hasonlóan korlátozott a párbeszédes tanítóadatok mennyisége. Munkánk célja egy a korábbiaknál élethűbb párbeszéd-szimulációs módszertan, az ún. beszélőérzékeny párbeszéd-szimuláció (speaker-aware simulated conversation) kidolgozása volt, amely képes a valós beszélgetésekre jellemző egyéni időzítési mintázatok reprodukálására. Számos metrika szerint ez a jelenlegi legrealisztikusabb párbeszédek létrehozó módszertan. A gyakorlati hasznosságot magyar nyelvű párbeszéd-leiratozó feladatok segítségével mutattuk meg. A megvalósítás alapját a BEA-Large korpusz egyszereplős felvételei képezték, amelyekből statisztikai modellezés (kernel-alapú sűrűségfüggvény-becslés és Markov-lánc) segítségével generáltunk kétbeszlős, valósághű időzítésű szimulált párbeszédek. A szimulációhoz a CallHome és a BEA-Dialogue természetes beszédkorpuszokból kinyert eloszlásokat alkalmaztuk és megvizsgáltuk a térszimuláció hatását is. Az így előállított szintetikus adatokkal kiegészített tanítóhalmazzal finomhangolt Fast Conformer CTC modellek következetesen javuló teljesítményt mutattak, mind szószintű, mind karakterszintű hibaarányok tekintetében. Eredményeink azt mutatják, hogy a beszélőfüggő párbeszéd-szimuláció hatékony módszer a magyar nyelvű, több-beszélős beszédfelismerés teljesítményének javítására.

Papp Dávid

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Távközlési és Mesterséges Intelligencia Tanszék

Inkrementális reprezentációbővítés félig felügyelt tanulásnál

A valós adatgyűjtési folyamatokban az adatok jellemzően több, egymástól részben független forrásból érkeznek. A hagyományos gépi tanulás egyetlen reprezentáción dolgozik, míg a multi-view machine learning (MVML) több nézőpontból leírt adatokat kezel együttesen. A kutatás a multi-view clustering (MVC) egy különösen nehéz változatát, az egyszerre inkrementális és hiányos MVC (IIMVC) feladatot vizsgálja: a view-reprezentációk fokozatosan, különböző időpontokban válnak elérhetővé és az egyes időpillanatokban ez hiányos is lehet. A feladat félig felügyelt irányba is kiterjeszthető (MVSSL), amennyiben egyes adatpontokhoz címkézés is elérhető.

Hiányos reprezentációk esetén kiemelten fontos az adatok és view-k közti megfelelő súlyozás. A súlyrendszer kialakításánál a historikus időállapotok súlyinformációit is felhasználó adaptív view-súlyozási módszert dolgoztam ki, amely javítja az egyszerű EM-szerű hozzárendelést és frissítést alkalmazó WMCFS algoritmust. IIMVC környezetben teszteltem az OECD-DAC nagyméretű adathalmazon. Az adaptív view-súlyozási módszer, valamint a tesztelés során kapott eredményekből készített tudományos közlemény az IJCAI 2026 A* kategóriás konferenciára került benyújtásra.

A mélytanulás-alapú IIMVC kidolgozása folyamatban van, a módszerek tesztelése megkezdődött, mind a PlantCLEF, mind az OECD-DAC adathalmazokon. A kutatási céloknak és ütemtervnek megfelelően az első és második munkaszakasz megvalósult. Április-május folyamán a munka készültével egy folyóirat cikk formájában foglalom össze a kutatást.

Sándor Dániel

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Elosztott adat- és tudásfúzió

A labordiagnosztikai vizsgálatok során keletkező adatok gyakran zajosak és nehezen használhatók fel a további diagnosztikai döntéshozatalhoz. Gráfalapú modellek alkalmazásával azonban lehetőség nyílik az adatok átlátható és magyarázható feldolgozására. Mivel a diagnosztikai folyamat szekvenciális jellegű, egy páciens esetében az új adatok gyűjtése a vizsgálatok során folyamatosan zajlik. Ha optimalizálni tudjuk a tesztek elvégzésének sorrendjét, pontosabb és költséghatékonyabb diagnosztikát érhetünk el.

Kutatásomban olyan aktív tanulási eljárásokat vizsgálok, amelyek segítenek pontosítani a gráfok modellek bizonytalan eloszlásai feletti következtetéseket. Ennek érdekében különböző akvizíciós stratégiákat elemeztem, amelyeket más tudományterületeken alkalmaznak az irányítatlan körmentes gráfok (DAG) szerkezetének tanulására és a bizonytalan struktúrák feletti következtetések javítására. Mivel a bayesi feltételezések szerint a mintavételezett modellek eloszlása bizonytalan, érdemes olyan pontokon beavatkozni, ahol a modellek közötti bizonytalanság a legnagyobb mértékben csökkenthető. Ezt a megközelítést alkalmazza a BALD (Bayesian Active Learning by Disagreement) kritérium is. Az általam implementált módszerrel bizonytalan DAG modellek és esszenciális gráfstruktúrák esetében is sikerült fejleszteni a struktúra tanulását és a következtetéseket.

Torma Szabolcs

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Heterogén adatok vizsgálata gépi tanulással

A modern neuroinformatika egyik legjelentősebb kihívása a különböző képalkotó modalitások adatainak együttes értelmezése és fúziója. A nagy időbeli felbontású elektroenkefalográfia és a kiváló térbeli felbontást nyújtó funkcionális mágneses rezonancia képalkotás kombinációja lehetőséget teremt az agyi folyamatok pontosabb térbeli és időbeli leírására. Kutatási programunk elsődleges célja egy olyan matematikai keretrendszer kidolgozása, amely képes ezen heterogén adatok közös látens térbe történő leképezésére, áthidalva az alanyok közötti jelentős biológiai és mérés technikai variabilitást.

A kutatás első fázisában az EEG jelek alanyok közötti osztályozásának problémájára fókuszáltunk, ahol az eloszlásbeli eltérések csökkentésére a Wasserstein Barycenter Transport algoritmust alkalmaztuk. A módszer hatékonyságát több benchmark adatbázison validáltuk, ahol a szakirodalmi eredményeket meghaladó pontosságot értünk el. A SEED IV érzelemfelismerési adatbázison a javasolt módszer Support Vector Machine osztályozóval kombinálva 81,21%-os pontosságot ért el, amely versenyképes a jóval komplexebb, félfelügyelt mélytanulási modellekkel. A VEPSS vizuális kiváltott potenciál adatbázison 79,59%-os kiegyensúlyozott pontosságot mértünk, amely több mint 10 százalékos javulást jelent a korábbi eredményekhez képest, új szintet állítva fel. Továbbá a BCI Competition IV 2a motoros elképzelési feladatban 72,76%-os átlagos pontosságot értünk el, igazolva a módszer robusztusságát különböző paradigmák esetén.

A kutatást kiterjesztettük az fMRI adatok, specifikusan az agyi konnektómák vizsgálatára is az ABIDE adatbázis felhasználásával. Hipotézisünk szerint a konnektómák esetében a pusztán eloszlásalapú összehasonlítás nem elégséges, mivel az agyterületek közötti topológiai és strukturális információk megőrzése kulcsfontosságú. Ezen felismerés alapján a hagyományos transzport módszerek helyett a Fused Gromov Wasserstein transzport alkalmazását vizsgáljuk. Ez az eljárás képes egyidejűleg kezelni a csomópontok jellemzőit és a gráfstruktúrát, így pontosabb megfeleltetést biztosíthat eltérő alanyok agyi hálózatai között. Bár az fMRI adatokon végzett kísérletek eredményei jelenleg még kevésbé konklúzívak a robusztus EEG eredményekhez viszonyítva, a strukturális variabilitás kezelésében a módszer ígéretes potenciált mutat.

Ezen eredmények, vagyis a sikeres eloszlásalapú EEG adaptáció és a strukturális információkat is figyelembe vevő Fused Gromov Wasserstein módszertan alapozzák meg a kutatás következő fázisát. A cél a heterogén adatok közös látens terének optimalizálása, ahol a két megközelítés szintézise lehetőséget teremt robusztusabb, több modalitást integráló diagnosztikai modellek fejlesztésére, amelyek a jövőben elősegíthetik a neuroképalkotó eljárások szélesebb körű és erőforrás-hatékony klinikai alkalmazását.

Tumay Ádám

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Mesterséges Intelligencia és Rendszertervezés Tanszék

Multimodális adatelemzés és döntéstámogatás

A félév folyamán továbbfejlesztettem és konferenciacikket készítettem egy korábbi, mellkasröntgen felvételeken tüdőszegmentációt végző eljárást. Itt az alaki kényszereket tradicionális ASM alakmodell alapú regularizáció biztosítja, továbbá a kontúrponthoz robusztus reinterpolációja. Az elkészült konferenciacikket a Bioimaging 2026 nemzetközi konferenciára nyújtottam be, ahol az elfogadásra kerülés 2026 márciusában kerül bemutatásra. (Beadva: 2025. 11. 20, Elfogadva 2025. 12. 19.).

A neurális alakmodell alapú szegmentáló eljáráshoz új feladatként a veseszegmentációt jelöltem ki CT felvételeken. Az alakmodellt egy autoencoder struktúra valósítja meg, mellyel a szegmentációt végző UNET architektúra kerül regularizálásra. (Az alakmodell decoder architektúrája és UNET dekóder ágában az aktivációs térképek mérete megegyezik, így pl.: euklideszi távolság alapú regularizációval biztosítható a funkcionális ekvivalencia.) Több megoldást is megvizsgáltam a regularizációra, mint az alakmodellt közvetlen paraméterezését neurális hálózattal, a korábban említett regularizációs eljárást, valamint transzfer tanítást is, ahol a közvetlenül paraméterezett modell tovább bővül új architekturális elemekkel a modell reprezentációs erejének növelése és a gradiens-visszaterjesztési utak rövidítése érdekében. A kísérletek folyamán nem sikerült szignifikáns javulást kimutatni a baseline modellhez képest. Ennek egyik vélt oka, hogy a ground truth veseszegmentációk minősége nem kielégítő, továbbá a szerv alakja nem kellően komplex, annak körvonala többnyire a háttértextúrától éles kontúrral különül el (ezen referenciasegmentációk részben a bemeneti felvétel küszöbölésével állnak/állíthatóak elő), továbbá a CT modalitás jellegéből fakadóan kitakarás sem léphet fel.

A jövőben olyan új szegmentálási feladatra összpontosítok, ahol ezen szempontok szerinti szegmentációt nehezítő tényezők állnak fenn. (Pl.: szívsegmentáció mellkas ultrahang felvételeken.) Valamint potenciálisan olyan szegmentálási eljárásokat vizsgállok meg, ahol a robusztusságot a közvetlen alaki priorok helyett, olyan jellemzők tanulásával biztosítom, melyek függetlenek az adathalmazok közötti eloszlás shifttől. (Pl. kontrasztív tanulás felhasználásával előzetes feature kiemelő háló tanítása.)

MODELLEZÉS ÉS ALGORITMUSOK

Csonka Bence

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Számítástudományi és Információelméleti Tanszék

Információelméleti és rokon gráfparaméterek

A kutatásom a zéró hibájú információelmélet egyik alapvető kérdéséhez, a Shannon-kapacitás becsléséhez kapcsolódó gráfparaméterek viselkedését vizsgálja. Ennek keretében a komplementer frakcionális Haemers-korlát vizsgáljuk: ez egy testtől (véges vagy végtelen) függő, lineáris algebrai definíciójú paraméter, amely az aszimptotikus spektrum részeként általános felső korlátot ad a Shannon-kapacitásra. A kérdés, hogyan változik ez a korlát az általánosított Mycielski-konstrukció hatására, amely klasszikusan a klikkszámot változatlanul hagyva képes a kromatikus számot növelni. Az első fő eredmény egy explicit, Tardif frakcionális kromatikus számra adott összefüggésével analóg általános felső becslés: a Mycielski-konstrukció szintjeinek száma és a kiinduló gráf frakcionális Haemers-korlátja alapján megadható egy zárt alakú korlát a konstrukció utáni értékre. A bizonyítás egy új, konstruktív reprezentációt épít fel tenzorszorzatok és jól választott koordinátaintervallumok segítségével ezzel közvetlenül állít elő megfelelő lineáris algebrai konstrukciót a becsléshez. A második fő eredmény a korlát élességét igazolja teljes gráfokra, majd ebből következik, hogy a becslés minden olyan gráfra pontos, amelynél a frakcionális Haemers-korlát megegyezik a klikkszámmal. Az eredményeken alapuló sejtés: azt várjuk, hogy a Tardif-típusú formula valójában minden gráfra igaz a komplementer frakcionális Haemers-korlát esetén is, és a jelenleg nem ismert ellenpélda még nem egész értékű esetekben sem.

Deé-Lukács András Gergely

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Mesterséges Intelligencia és Rendszertervezés Tanszék

Beágyazott MI komponensek hatásanalízise közelítő modellekkel

A modern IT-OT (információtechnológiai és a fizikai folyamatokat irányító operációs technológia integrációja) architektúrákban egyre gyakrabban alkalmaznak gépi tanulási modelleket az emberi beavatkozás minimalizálása érdekében, azonban ezek megbízhatóságára különös figyelmet kell fordítani, mivel hibás működésük nem várt következményekkel járhat. A state-of-the-art megközelítésben biztonsági burkolók (safety wrapper) szűrik a hibás kimeneteket, azonban teljes körű garancia a kritikus hibák elkerülésére nem áll rendelkezésre.

A kutatás célja egy olyan módszer kidolgozása, amely szisztematikusan feltárja egy beágyazott MI komponenssel rendelkező rendszer kockázatait. A módszer meghatározza, hogy a burkoló által átengedett hibás becslések mely esetekben okoznak veszélyhelyzetet a rendszer kontextusában, valamint azt is, hogy egy konzervatív elutasítás milyen kockázatokkal jár a szolgáltatásbiztonságra nézve.

A kiértékelésben a beágyazott (feketedoboz) ML modell vizsgálata egy közelítő burkoló modell segítségével történik. A közelítő modellek létrehozásához a Magyarázható Mesterséges Intelligencia (Explainable AI) eszköztára biztosítja a szabályalapú approximációt. Ennek kiegészítéseként az Egymásba Ágyazott Üregek (Nested Cavities) módszer alapján kidolgoztam egy anytime algoritmust, amely magyarázható közelítéseket ad és amelynek hatékonyságát célzott heurisztikákkal javítottam, így nagyobb méretű, gyakorlati problémákra is skálázható. Ezt a párhuzamos koordináták módszere vizuálisan is támogatja. Sajátossága, hogy fokozatos közelítésekkel olyan közelítőfüggvényt készít, amely garantálja a veszélyes esetek detektálását. Melléktermékként létrejön egy alsó becslő sorozat is, amellyel meghatározható a bizonytalan zóna, ami pontosan leképezhető az Életlen Halmazok Elméletére (Rough Set Theory).

A dolgozat kiterjeszti a módszert kategorikus változókra és javaslatot ad arra, hogy az adathalmaz lokális metrikái alapján hogyan javítható a felismerés biztonsága. Az így kialakított absztrakt szabályhalmaz kvalitatív absztrakcióval diszkretizált szabályokra alakítható. A diszkrét logikai változók feletti determinisztikus szabályalapú gépi tanulás révén a kinyert szabályok nemcsak magyarázhatók, hanem reprodukálható és formálisan ellenőrizhető döntési logikát is biztosítanak. Ezek a szabályok és a mérnöki modellek képezik a hibaterjedés-vizsgálat (Error Propagation Analysis) alapját, amellyel az ML modell hibás döntéseinek rendszerszintű kihatásai feltárhatók.

Az elvégzett vizsgálatokat egy átfogó ipari esettanulmány mutatja be, amely igazolta a módszerek gyakorlati alkalmazhatóságát és biztosítja a lépések reprodukálhatóságát. A módszer hozzájárul az IT-OT rendszerekben alkalmazott ML modellek szolgáltatásbiztonságának javításához, különösen kritikus alkalmazási területeken.

Nagy Simon József

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Kiterjesztett tervezési modelleken alapuló sztochasztikus modellezés és elemzés

Az autó, energetikai, repülő és űriparban a kritikus kiberfizikai rendszerek szolgáltatásbiztonságának ellenőrzése és a rejtett gyenge pontok identifikálása elsődleges szempont ezen rendszerek tervezése során. Kritikus kiberfizikai rendszerek megbízhatóságának, rendelkezésre állásának és teljesítményének kiértékelését nagyban segítik a szimuláció-alapú statisztikai modell-ellenőrzési technikák, melyek során sokszor egymásután, ismételten véletlenszerűen leszimuláljuk a rendszer viselkedését és statisztikai következtetéssel megbecsüljük a rendszer szolgáltatásbiztonsági jellemzőit, mint például a meghibásodások várható bekövetkezési idejét vagy az átlagos kiszolgálási kapacitást és késleltetést. A statisztikai módszerek hátránya, hogy a ritka események analíziséhez nagy számú szimulációra van szükség. A kutatásom során kidolgoztam egy új szimulációs eljárást, mely lehetővé teszi a szimulációk párhuzamosítását a Bayes-i mély tanulás terén elért eredmények hasznosításával. A szimulációs megközelítés a szolgáltatásbiztonság kiértékelése mellett lehetőséget biztosít a rendszerben lévő rejtett hibák identifikálására érzékenységi jellemzők és importance measure-ök felhasználásával és kiterjesztésével. Megközelítésemet ipari esettanulmányok segítségével részletesen kiértékeltem.

Nemkin Viktória

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Számítástudományi és Információelméleti Tanszék

Hatékony algoritmusok

A QUBO (kvadratikus, korlátozásmentes bináris optimalizálás) egy klasszikus NP-nehéz feladat, amely a kvantumszámítógépek megjelenésével ismét előtérbe került, mivel természetes módon visszavezethető az Ising-modellre, amelyen a kvantum-annealing eszközök alapulnak.

Cikkünkben bevezettünk egy új QUBO konstrukciót, amivel permutációkat lehet reprezentálni és amely a korábban ismert $O(n^2)$ változós reprezentációkhoz képest $O(n \log^2 n)$ változóban kódolja ezeket, miközben sokkal ritkább interakciós gráfot eredményez. A konstrukció alapját a rendező hálózatok adják: tudásunk szerint ez az első eredmény, amely kapcsolatot teremt az adat-független (oblivious) összehasonlító-cserélő hálózatok és a QUBO-kódolások között.

Módszerünk a permutációkra vonatkozó további megszorítások kezelését is támogatja, például fixpontokkal kapcsolatos kényszereket, illetve paritási feltételeket. Ez a reprezentáció továbbá lehetővé teszi a permutációk szorzatának, inverzének a leírását, egy permutáció rendjének ellenőrzését, illetve például olyan permutációk előállítását, amelyek felcserélhetőek egy megadott permutációval.

A konstrukciónk fontos tulajdonsága, hogy egyenletes mintavételezést tesz lehetővé (feltéve, hogy a megoldó is egyenletesen választ a lehetséges megoldások halmazából), ez különösen fontos kritérium a zajos kvantumszámítógépek esetén.

Ilyen fajta QUBO-s reprezentációk felhasználhatók lehetnek minden olyan területen - például kriptográfiában (megfelelő S-boxok keresésére) vagy kombinatorikus tervezésselméletben (például bajnoki ligák menetrendjének összeállítására) - ahol ilyen típusú kényszerekkel ellátott permutációk előjönnek.

Szekeres Kornél

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Kooperatív rendszerek viselkedésének vizsgálata és modellezése

A második félév során végzett szakmai tevékenységem központjában az 5G hálózatok és a dróntechnológia integrációs lehetőségeinek kutatása állt. Az 5G Távközlési Tanszékkel szoros együttműködésben egy Q1-es besorolású survey (áttekintő) tanulmányt készítettünk elő, amely a magas légköri platformok (High Altitude Platform Stations - HAPS) 5G adóvevőinek technológiai kihívásait és jövőképét taglalja. A kutatás egyik kulcspontja egy 20 km-es magasságban operáló repülőraj koncepciója, amely alacsony késleltetésű kommunikációt hivatott biztosítani; a munka során kiemelt figyelmet fordítottam a megvalósításhoz szükséges kritikus szerkezeti és mérnöki kihívások azonosítására.

Oktatói tevékenységem részeként két szakdolgozó hallgató munkáját mentoráltam: egyikük a tanszéki autóverseny-pálya digitális ikerpárjának létrehozásával és mesterséges intelligencia alapú tanításával foglalkozott, míg a másik hallgató Unreal Engine környezetben fejlesztett önvezető autó szimulációt. Egyetemi oktatói feladataim mellett sikeresen pályáztam a Pathway to Business programba, ahol PhD hallgatótársaimmal közösen sajátítom el a kutatási eredmények startup-orientált, üzleti hasznosításához szükséges ismereteket.

OKOS KÖZLEKEDÉS ÉS JÁRMŰIPARI RENDSZEREK

Bányász László

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék

Miliméterhullámú antennák felhasználhatósága gépjárműradar alkalmazásokhoz

Napjaink meghatározó ipari kutatási hajtóerejét az autóiipari vezetést segítő és önvezető rendszerek képezik, melyek az új gyártású járművek döntő többségében megtalálhatók. Világszerte, éves szinten ez több tízmillió járművet jelent. Ezen rendszerekben az érzékelést jellemzően nagyfrekvenciás radarokkal valósítják meg. A funkcionális fejlődés mellett kritikus, hogy a technológia egyre kedvezőbb árfekvésben legyen elérhető, emiatt a költséghatékony nagyfrekvenciás technológiák kutatása kulcsfontosságú ezen ipari szegmensben.

Egy ilyen potenciális megoldás a Ball-Grid-Array (BGA)-alapú csőtápvonalas struktúra, melyben két szabványos FR-4 hordozó összeforrasztásával a forraszgolyókkal körbehatárolt üregek, mint csőtápvonalak lesznek a hullámvezető csatornák.

A technológia fejlesztési és szimulációs szempontból kihívást jelent, mivel a pontos térszimulációk elvégzéséhez és a csőtápvonalak karakterizálásához az összes forraszgolyó geometriai implementációjára szükség van, mely a gyakorlatban időigényes és nehezen automatizálható feladat. Emiatt a parametrikus vizsgálatok vagy az iteratív fejlesztési feladatok körülményesen végezhetők.

Az említett alkalmazásokban Multiple Input - Multiple Output (MIMO) antennastruktúrákat használnak, melyeknél az egyes csatornák közötti fázisviszonyok kontrollálása rendkívül fontos a robusztus teljesítmény elérése érdekében.

Kifejlesztésre került egy olyan, fázis-ekvivalens folytonos falmodell, mely a forraszgolyók geometriai tulajdonságai alapján egy ekvivalens tápvonalszélességgel modellezi a BGA-alapú csőtápvonalas struktúrát.

Ez a numerikus modell a gyakorlatban előforduló forraszgolyó-geometriákra adja meg az ekvivalens tápvonalszélességet, melynek érvényességét térszimulációs eljárással validáltuk. A modell értelmezési tartományán belül előforduló worst-case fázishiba hat foknál kisebb, így az eljárás jól használható gyakorlati szimulációkhoz.

Bereczki Norman Zoltán

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

Mesterséges intelligencia alapú algoritmusok okos városok szolgáltatásainak optimalizálására

Napjaink nagyvárosainak egyik legjelentősebb problémája a forgalmi torlódások, melyek jelenléte számos negatív hatást gyakorol az egészségünkre, a környezetre, valamint a gazdaságra. Az évről évre növekvő járműállomány és az utakon lévő járművek száma túlterheli a meglévő közlekedési infrastruktúrát, mely a forgalom lassulásához, részleges, vagy akár teljes leállásához vezet. Ezen problémák megszüntetésére, valamint enyhítésére kínálnak megoldást az intelligens közlekedési rendszerek (ITS), melyek célja, hogy a közlekedést biztonságosabbá és hatékonyabbá tegyék.

Az ITS alkalmazások közé tartoznak a forgalom- és torlódáselőrejelző-rendszerek, melyek célja, hogy adatvezérelt alapon előrejelzést adjanak az útszakaszok későbbiekben bekövetkező állapotáról, vagy kialakuló torlódások terjedésének irányáról, sebességéről. Az így kapott információ hasznos alapul szolgál a közútkezelőknek és elősegítheti a forgalom természetének pontosabb megértését.

Egy másik ITS alkalmazás az intelligens közlekedési lámpavezérlés, melynek célja, hogy a forgalom monitorozásának, valamint az adatok értelmezésének segítségével adaptívan állítsa a közlekedési lámpák fázisait, hogy optimalizálja a forgalmat, ügyelve arra, hogy megtartsa a fázisidők biztonságos összehangoltságát.

Jelen munka három fő munkafázisból áll, melyből az első kettő valósult eddig meg. Az első munkafázis során létrejött két új torlódáselőrejelző módszer. Az első módszer egy új, járműszinten kiszámítható metrikát vezet be mely a követési távolságok változásán alapszik és ezt jellemző leíróstatisztikák alapján tér-időbeli modellt épít a predikció kiszámításához. A másik módszer egy hybrid rekurrens gráf neurális háló modellt mutat be, mely képes a szakirodalomban meglévő, state-of-the-art modelleket túlteljesíteni.

A második munkafázis a forgalmi torlódási utak azonosításával és modellezésével foglalkozik, sztochasztikus módszerek segítségével. Bemutatunk egy lineáris futásidejű algoritmust, mely képes időben inhomogén Markov láncok építésére, mely segítségével a torlódások pozíciója, valamint terjedésük várható ideje kiszámítható. Ezen felül a modellt bővítjük a terjedés tisztaságának vizsgálatával, így képet kaphatunk az úthálózat kritikus szűk keresztmetszeteiről.

A harmadik munkafázis során az első két fázisra épülő, a szakirodalomban alacsonyan kutatott, új proaktív lámpavezérlési stratégiát tervezünk, mely nem csak az utak aktuális, hanem jövőbeli várható állapotát is figyelembe veszi, így megelőzve a torlódások kialakulását.

Az első két munkafázisban említett módszerek rangos folyóiratokban, illetve nemzetközileg elismert konferenciákon lettek publikálva, vagy állnak publikálás alatt.

Béres András

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Távközlési és Mesterséges Intelligencia Tanszék

Hatékony mélytanulási modellek az autóipar számára

Az önvezető járművek fejlesztése a mesterséges intelligencia egyik legintenzívebben kutatott területévé vált, ahol a mély neurális hálózatok kiemelkedő eredményeket érnek el számítógépes látási feladatokban. Ugyanakkor a robusztus és általánosítható vizuális reprezentációk kialakítása továbbra is komoly kihívást jelent: a modellek érzékenyek a domain shift problémájára, vagyis az eltérő környezeti körülmények (változó időjárás, megvilágítás, komplex forgalmi helyzetek) okozta adateloszlásbeli eltérésekre. A hagyományos, felügyelt tanuláson alapuló megközelítések emellett hajlamosak a túltanulásra, ami valós alkalmazásokban súlyosan korlátozza a megbízhatóságukat. Kutatásom célja ezért olyan általános alapmodellek fejlesztése, amelyek skálázható, többfeladatos és környezeti változásokra robusztus reprezentációkat képesek tanulni az önvezető rendszerek számára.

A kutatóm egyik fő iránya a diffúziós modellek által tanult vizuális reprezentációk vizsgálata önvezető feladatokban – a nagy nyelvi modellek területén bizonyított generatív előtanítási paradigma képi analógiájaként. Továbbá a flow-matching alapú generatív modellekkel is foglalkozom, különös tekintettel arra, hogy az időbeágyazás elhagyásával és közvetlen jelpredikcióval miként mérsékelhető a túltanulás, ami az end-to-end önvezető modellek egyik kulcsproblémája. A modellek robusztusságát a reprezentációik képaugmentáció-invarianciája segítségével is vizsgáltam.

A kísérleteket két különböző platformon végzem: a Duckietown szimulált környezetben, amely kontrollált körülmények között teszi lehetővé az alapvető önvezetési feladatok tanulmányozását, valamint a NAVSIM platformon, amely valós szenzoradatokra épül, és közelebb visz az ipari alkalmazhatóság felméréséhez. A két platform együttes alkalmazásával a szintetikus és valós adatokon tanult reprezentációk közötti transzfer és adaptáció kérdései is vizsgálhatók. A kutatóm hosszú távú célja egy egységes, skálázható mélytanulási keretrendszer kialakítása, amely hozzájárul az önvezető technológiák robusztusságának és általánosítóképességének növeléséhez.

Ficsor Attila

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Mesterséges Intelligencia és Rendszertervezés Tanszék

Autonóm járművek tesztelése forgalmi szituációk szisztematikus előállításával

A modellezés korai szakaszában a fejlesztés alatt álló rendszerről gyakran csak részleges ismereteink vannak. A parciális modellezési technológiák lehetővé teszik a részleges ismeretek explicit ábrázolását, így a fejlesztők több tervezési alternatívát is figyelembe vehetnek és kezelhetik a bizonytalanságokat és a lehetséges ellentmondásokat. A parciális modellezés azonban kihívást jelent, mivel a modelleknek meg kell felelniük a tervezési szabályoknak és a jólformáltsági kényszereknek, amelyek komplex logikai predikátumok. Ezért fontos, hogy a kényszereket sértő tervezési alternatívákat a lehető leghamarabb kizárjuk, hogy csökkentsük az érvénytelen tervezési döntések számát és kezelhetővé tegyük a tervezési alternatívák automatizált létrehozását.

Egy technikát javaslok a jólformáltsági kényszerek propagációs szabályokká történő átalakítására, amelyek logikai következtetési lépések, amelyek automatikusan kizárhatják az érvénytelen tervezési alternatívákat. Így a propagációs szabályok csökkenthetik a látszólagos tervezési döntések számát, javítva ezzel a fejlesztés hatékonyságát. Ezenkívül a tervezési alternatívák automatizált generálása során a propagációs szabályok alkalmazásával a javasolt technika jelentősen javíthatja a logikai megoldók teljesítményét. A javasolt technikát integráltuk a Refinery gráfgeneráló keretrendszerbe.

Kovács Gergely Attila

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

5G/6G peremhálózati számítástechnikára támaszkodó járműkommunikációs alkalmazások kérdései önvezetés támogatásához

Kutatásom célja az autonóm és kooperatív járműrendszereket támogató, peremhálózati számítástechnikára épülő digitális iker szolgáltatások modellezési és elemzési keretrendszerének kidolgozása 5G/6G-alapú V2X kommunikációs környezetben. A munka fókuszában olyan, a kollektív érzékelésen (Collective Perception, CP) alapuló és az ezekre épülő Day 3 szolgáltatások állnak, mint a manőverkoordináció (Manoeuvre Coordination Service, MCS). Ezek természetes módon értelmezhetők digitális iker alapú döntéstámogató és vezérlési mechanizmusokként, ahol a valós közlekedési környezet virtuális reprezentációja támogatja a kooperatív döntéshozatalt.

A kutatás eddigi szakaszában átfogóan feltérképeztem az autonóm járművekhez kapcsolódó digitális iker használati eseteket és hálózati követelményeiket. Feldolgoztam az ETSI Multi-access Edge Computing (MEC) architektúrát és a kapcsolódó V2X API-kat (kiemelten a MEC V2X Information Service (MEC VIS) interfészt), valamint a 3GPP és ETSI által szabványosított V2X kommunikációs technológiákat. Létrehoztam egy kiterjesztett szimulációs modell-együttest az Artery/OMNeT++ és a Simu5G keretrendszerek integrációjával, amely lehetővé teszi MEC-alapú CP szolgáltatások vizsgálatát valóságghű, nagyvárosi forgalmi környezetben. A modellben a járművek által generált üzenetek MEC szerveren történő feldolgozását vizsgálom, figyelembe véve a V2X szolgáltatásokra érvényes szigorú késleltetési követelményeket. A manőverkoordináció (MC) modellezéséhez kifejlesztettem egy speciális keretrendszert, amely képes együttműködni más kooperatív szolgáltatásokkal és szabványos interfészekkel. Ez lehetővé teszi, hogy a kollektív érzékelésből származó adatok szerepet kapjanak a manőverkoordináció döntéshozatalában, megalapozva a digitális iker alapú vezérlési koncepciókat.

A digitális iker szolgáltatások hatékony működéséhez elengedhetetlen a peremhálózati erőforrások alacsony késleltetésű elérése, ezért kutatásom kiterjed az IPv6-alapú és helyzetalapú útválasztási megoldások vizsgálatára is. Foglalkozom a natív IPv6, a GeoNetworking és a GN6ASL hibrid routing mechanizmusok szerepével a hibrid V2X környezetekben, különös tekintettel a MEC szolgáltatások elérésére. Megalkottam az IPv6 over 802.11 OCB architektúra szimulációs modelljét, amely lehetővé teszi az ad-hoc járműhálózatban az IPv6 protokoll és mechanizmusainak vizsgálatát, alapot nyújtva a direkt kommunikációs linkek szélesebb körű felhasználásához.

A kutatás hátralévő részében egy CP/MC adatokra támaszkodó digitális iker szolgáltatás szimulációs modelljét tervezem megvalósítani és integrálni a MEC infrastruktúrába a MEC VIS API felhasználásával. Teljesítményét különböző V2X hozzáférési technológiák, hálózati topológiák és routing stratégiák mellett értékelem. A várható eredmények hozzájárulnak a MEC VIS API és a GN6ASL protokoll továbbfejlesztési javaslataihoz, valamint a digitális iker alapú kooperatív járműalkalmazások tervezési iránymutatásaihoz.

Szinyéri Bence

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Alkalmazott mélytanulási algoritmusok a közlekedésben

A Bridge Weigh-in-Motion (B-WIM) rendszerek lehetővé teszik, hogy a hídon áthaladó járművek tengelysúlyát azok megállítása és kiterelése nélkül meg lehessen állapítani. A Nothing-on-Road (NOR) B-WIM rendszerek esetében a szenzorok (általában nyúlásmérő szenzorok) a híd alján helyezkednek el, így nem szükséges az aszfaltburkolat megbontása és a járműforgalom korlátozása. Előadásomban bemutatom, hogy a mélytanulás eszköztára milyen módon alkalmazható a területen. A mélytanulás alkalmazható több célra is: a kieső szenzorok jelének rekonstrukciójára, a több sávban egymás mellett és ellentétes irányban haladó járművek paramétereinek pontosabb becslésére, valamint a tandem- és tridem tengelyek pontosabb detekciójára is. Áttekintem a módszerek előnyeit és hátrányait, amelyek a komáromi Monostori hídon valós környezetben is tesztelésre kerültek. A komáromi Monostori hídon a legnehezebb tengelyek, a tengelycsoportok és az összsúly becslése a COST 323 klasszifikáció alapján "A" (legjobb) pontossággal működött egy validációs adathalmazon. Az előadásomban végül áttekintem a mélytanulás további lehetőségeit a területen, új kutatási irányokat felvázolva.

SZOFTVER-ÉS RENDSZERTERVEZÉS, FORMÁLIS VERTIFIKÁCIÓ

Cziborová Dóra

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Mesterséges Intelligencia és Rendszertervezés Tanszék

Valós idejű szoftveralapú rendszerek formális ellenőrzése

Valós idejű konkurens programok verifikációjára több egymást kiegészítő megközelítés létezik: (i) Az időzített automatákkal dolgozó modellellenőrzők képesek időzítésekkel való érvelésre, az időzített automaták azonban nem tudják a C nyelv memóriamodelljeit és szinkronizációs primitívjeit kifejezni. (ii) A szoftver modellellenőrzők képesek kezelni a haladó nyelvi elemeket, de nem tudnak időzítéseket kezelni, így hamis hibautakat adnak eredményül, amikor egy versenyhelyzet pont az időzítések miatt lenne lehetetlen. (iii) A worst-case végrehajtási idő (WCET) analízis eszközök korlátokat adnak meg a végrehajtási időre, de nem tudnak biztonsági követelményeket ellenőrizni.

A valós idejű konkurens C programok verifikációjára egy időzítéseket is figyelembe vevő program verifikációs munkafolyamatot javaslok, mely integrálja az időzített automata szemantikát, a meglévő C program verifikációs módszereket, valamint a WCET időzési korlátokat. Mindez három kulcsfontosságú kihívást vet fel, melyek lehetséges irányokat mutatnak a későbbi kutatásra. A Theta modellellenőrzőben elkészült prototípus implementáció mutatja a javasolt munkafolyamat megvalósíthatóságát.

Így megteremtődik annak lehetősége, hogy a hamis pozitív eredményeket kiszűrjük az időzítések miatt lehetetlen esetekben, valamint olyan időzési tulajdonságokat ellenőrizzünk, melyeket korábban lehetetlen volt szoftver modellellenőrzőkben kifejezni.

Fiák Ádám

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Mesterséges Intelligencia és Rendszertervezés Tanszék

Objektum-orientált rendszertervezési módszertan kiterjesztése kiberfizikai rendszerek platformalapú tervezéséhez

A kritikus rendszerek tervezése során a magas minőségi követelmények és az emelkedő komplexitás miatt egyre jobban elterjed a modellalapú rendszertervezés, lehetővé téve a tervezés különböző aspektusainak szoftveres támogatását.

A terület új kihívásainak megválaszolására hozták létre a SysML v2 rendszermodellező nyelvet. Mivel a SysML v2 számos újítást tartalmaz az elődjéhez képest, ezért a jelenlegi tervezési módszertanok átdolgozása is megkezdődött. Az egyik ilyen módszertan az Object-Oriented Systems Engineering Method (OOSEM), ami keretet ad a rendszer szisztematikus komponensekre bontására és a kész komponensek integrálására, de jelenleg nem írja elő, hogy mi alapján történjen a dekompozíció és a tervezés.

A gyakorlatban sok kiberfizikai rendszer esetén (pl. járművek) az új terméket egy meglévő platformon valósítják meg, ami nagyban befolyásolja a tervezés menetét. Erre adnak választ a platformalapú megközelítések, ahol egy kész platformon konfiguráció és szoftverkomponensek segítségével valósítják meg a funkcionalitást.

Az is jellemző, hogy egy önmagában is konfigurálható platformon egy egész termékcsaládot fejlesztenek. Ilyenkor fontos az egyes variánsok és tervezői döntések megfelelőségének és helyességének igazolása. Ehhez gyakran a rendszer és a környezetének fizikai aspektusait is modellezni kell, amire a SysPhS v2 ad választ. Az előálló tervezői szimulációval „virtuális környezetben” lehet tesztelni, lehetővé téve a tervezői döntések korai kiértékelését.

Ezek a technológiák és módszertanok többletfeladatot jelentenek a mérnökök számára, továbbá szükségessé teszik a módszertanok betartásának ellenőrzését is, hiszen ezek nélkül nem érvényesülhetnek ezek pozitív hatásai. Ezért fontos, hogy az új tervezői módszerek kidolgozásánál azok eszköztámogatására is gondoljunk, hiszen ez az, ami ipari környezetben is alkalmazhatóvá tesz egy eredményt. Ebből a szempontból kiemelten fontos, hogy a SysML v2, az elődjével ellentétben, rendelkezik egy egységes, szabványos reprezentációval, amely nemcsak a fejlesztőeszközök interoperabilitását, hanem más támogató eszközök használatát is elősegíti. Továbbá a SysML v2 szabvány lehetővé teszi nyelvi kiterjesztések készítését, amelyek új kulcsszavak bevezetését teszik lehetővé a nyelvben, ezzel a modellben megjelenítve egyes doménspecifikus fogalmakat.

Kutatásomban az OOSEM módszertan egy platformalapú rendszertervezést támogató kiegészítését, amely lehetővé teszi a módszerek hatékony alkalmazását a SysML v2-ben az OOSEM módszertanon keresztül. Ezenfelül a módszertan formális modellezésével foglalkozom, amelyhez egy SysML v2 nyelvi kiterjesztést is bevezetek, amely lehetővé teszi a módszertan eszköztámogatását. A módszereket egy esettanulmányban mutatom be és értékelem ki. Végül a tapasztalatok alapján azonosítom a lehetséges támogatási pontokat, melyek a kiterjesztésre alapozva lehetővé tehetik a módszer gyakorlati alkalmazását is.

Furmann Áron

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Valósídejű rendszerek hardverfüggetlen szintézise

Az autóiipari E/E (elektromos/elektronikai) architektúrák kutatás-fejlesztésében ma az egyik legfontosabb irány a funkciók központosítása. Amikor egyre több funkcionális egységet egy központi elektronikus vezérlőegységbe (ECU) integrálunk, a hagyományos „rendszertervezés” megközelítése helyett „rendszerek rendszerének” (system of systems) tervezésére van szükség. Már a tervezés során figyelni kell arra, hogy igazolni tudjuk: az egyes részrendszerek funkcionális biztonsági (FuSa) követelményei az integráció után is teljesülnek, ezáltal a tesztelési ráfordítás a lehető legalacsonyabb marad.

A korai tervvalidáció támogatására először a bevált, grafikus System Modeling Language (SysML) 1.4. eszközeit alkalmazzuk. Ezt követően ugyanennek a központi ECU-részletnek a modellezésére egy rugalmas, generikus megközelítést, a Dynamic Multi-layer Algebra (DMLA) módszer kerül bemutatásra, amely magasabb kifejezőkészségű leírást tesz lehetővé. Végül a gyors ütemben széles terméktámogatást elnyerő új SysML 2.0 immár szöveg alapú reprezentációját használjuk a probléma megoldására. Lezárásul a tanulságok összegzése és javaslattétel egy heterogén modellezési stratégiára, amely a „két világ legjavát” hivatott egyesíteni: az általános, szabadon alakítható modellt mint „tapaszt” (glue) - a doménspecifikus modellek erejével a részletekért.

Mondok Milán

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Mesterséges Intelligencia és Rendszertervezés Tanszék

Aszinkron rendszermodellek elágazó idejű modellellenőrzése szimbolikus technikákkal

A komplex biztonságkritikus rendszerek helyes működésének szavatolása kulcsfontosságú feladat, hiszen az ilyen rendszerekben jelenlévő hibák jelentős anyagi kárral járhatnak, szélsőséges esetekben akár emberéletekbe is kerülhetnek. A formális verifikáció matematikailag precíz módszert kínál a rendszertervek helyességének bizonyítására, az összes lehetséges viselkedés kimerítő vizsgálatával. A modellellenőrzés egy automatikus formális verifikációs technika, amelyet azonban a vizsgálandó állapotterek hatalmas mérete korlátoz. Az aszinkron elosztott rendszerek hatékony ellenőrzésére fejlesztették ki a szaturáció algoritmust, mely a rendszer párhuzamos komponensei közötti függetlenségek kihasználásával képes a döntési diagram alapú állapotter-reprezentáció kompakt kezelésére.

Korábbi kutatómunkám során általánosítottam a szaturáció algoritmust szimbolikusan, SMT formulákkal megadott rendszermodellekre. Ehhez bevezettem az ún. behelyettesítési diagramot, egy újszerű adatstruktúrát, mely hatékonyan feszít ki döntési diagramokhoz hasonló struktúrát SMT formulákból, lusta kiértékeléssel. Kidolgoztam továbbá az algoritmus biztonsági tulajdonságok ellenőrzésére alkalmas kiterjesztését, mely képes ellenpélda visszaadására is a követelmény sérülése esetén. Az eredményeket a nyílt forráskódú Theta verifikációs keretrendszerben valósítottam meg, amely a Gamma modellező keretrendszer verifikációs backendjeként szolgál, lehetővé téve többek között SysML v2 rendszermodellek ellenőrzését.

Jelen kutatásom célja az algoritmus továbbfejlesztése elágazó idejű temporális logikai (CTL) tulajdonságok ellenőrzésére. Ez magában foglalja az előd állapotok szaturáció alapú számításának kidolgozását, az „E p U q” és „EG p” operátorok címkézési algoritmusának megvalósítását, valamint a megközelítés széleskörű kiértékelését és optimalizációját. A CTL támogatás lehetővé teszi az élőségi, helyreállási és stabilizálódási tulajdonságok feletti érvelést, jelentősen növelve a megközelítés ipari alkalmazhatóságát.

Szabó Richárd

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Mesterséges Intelligencia és Rendszertervezés Tanszék

Megbízható CPS-ek modellalapú tervezése

Kutatásom során arra foglalkoztam, hogy hogyan lehet modellalapú módszerekkel segíteni a mérnökök munkáját. A kutatásom három fő területre fókuszált: a) kritikus rendszerek tervezése és ellenőrzése, ennek keretében új modellezési és ellenőrzési módszertant dolgoztunk ki, ami a releváns ipari megbízhatósági szabványokhoz igazodva segíti a követelménysértések szisztematikus felderítését, már a tervezés korai fázisaiban is; b) kritikus rendszerek környezetének modellezése, ennek keretében egy új modellezési formalizmust dolgoztunk ki, aminek a segítségével precízen és konfigurálható módon felírhatóak elosztott rendszerek időzítési kényszerei, a komponensek lehetséges lefutási sorrendjei és a köztük lévő lehetséges interakciók; c) mérnöki döntéstámogatás, ennek keretében olyan módszertant és algoritmust dolgoztunk ki, amivel a mérnökök meglévő, korábban elkészített terveik alapján új projektjeikhez előzetes terveket és költségbecslést kapnak, ezzel segítve a tervezői munkájukat. A kutatáshoz kapcsolódóan több TDK dolgozat is született, valamint az elért eredményeket hazai konferenciákon és a terület rangos nemzetközi folyóiratában mutattuk be.

Telbisz Csanád Ferenc

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Mesterséges Intelligencia és Rendszertervezés Tanszék

Formal Verification of Parallel Systems Using Graph-Based Inference

Calculating successor states in software model checking is often a costly task. However, in many cases, the evaluation of a program statement has no effect with respect to the verified property. Successor state calculation can be simplified in such cases. Several algorithms exist such as the cone-of-influence reduction that statically analyze the model and eliminate irrelevant variables from the model. In concurrent software, however, it is common for the result of a statement to be used in one interleaving of threads while unused in another. Algorithms that statically analyze the model cannot simplify such statements. My on-the-fly approach builds a data-flow graph to detect whether a statement can be simplified during the state space exploration based on the current state of each process. I also propose possible ways to integrate my simplification algorithm into existing techniques such as counterexample-guided abstraction refinement and partial order reduction. Evaluation results show that my algorithm can achieve a considerable amount of simplification which significantly reduces the time of successor state calculation. Ongoing research directions include extending the model checking algorithm to complex memory graphs where we can leverage the power of graph solvers.

Toldi Balázs Ádám

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Mesterséges Intelligencia és Rendszertervezés Tanszék

Skálázható alkalmazások extrafunkcionális tulajdonságainak empirikus modellezés alapú elemzése

A komplex, konfigurálható, elosztott IT rendszerek - különösen a modern szoftver-vezérelt infrastruktúrák - megbízhatóságának garantálása egyre nagyobb nehézségekbe ütközik a konfigurációs variabilitás és a komponensek közötti interakciók robbanásszerű növekedése miatt. Ezekben a környezetekben a teljes körű tesztelés (exhaustive testing) gyakran lehetetlen, ugyanakkor a kritikus infrastruktúrák - mint például a mobilhálózatok - szigorú megfelelést követelnek meg olyan extra-funkcionális követelmények terén, mint az időszerűség, a rendelkezésre állás és a reziliencia.

A megvalósított megoldás e kihívás kezelésére kifejlesztettünk egy empirikus modellépítésbe ágyazott megközelítést, amely benchmark kísérletekből származó adatokat és szakértői tudást hasznosít a rendszer viselkedésének jellemzésére. A projekt eredményeként létrejött egy újszerű, mesterséges intelligenciával támogatott teljesítményelemzési keretrendszer, amely empirikus kvalitatív modellekre támaszkodva képes előre jelezni és optimalizálni a rendszerek megbízhatóságát.

Technológiai háttér: A Mynerva Stack A megoldás technológiai alapját a saját fejlesztésű Mynerva stack adja, amely egy teljesen működőképes, moduláris környezet az LLM-alapú mérnöki munkákhoz. Ez az architektúra integrálja a nagy nyelvi modelleket (LLM) a kvalitatív absztrakcióval és a magyarázható mesterséges intelligenciával (XAI). A keretrendszer képes arra, hogy korlátozott mennyiségű mérési adatból, forráskódból és dokumentációból szintetizáljon mérnöki modelleket, biztosítva a helyi, ellenőrizhető LLM-következtetést.

Alkalmazás és hatás A kifejlesztett metodológia validálása ipari környezetekben, többek között 5G pilot rendszerekben és elosztott főkönyvi technológiákon (blockchain) történik. A keretrendszer bizonyítottan alkalmas az erőforrás-hatékonyság és a szolgáltatás-megbízhatóság növelésére azáltal, hogy a statikus mérnöki modelleket a dinamikus futásidejű viselkedéssel kapcsolja össze.

Zavada Ármin Zsolt

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Ontológiaalapú mérnöki modellek által leírt viselkedések szemantikailag konzisztens analízise

A kiberfizikai rendszereket (CPS) egyre gyakrabban alkalmazzák olyan kritikus területeken, ahol a biztonság és a megbízhatóság elsődleges fontosságú. A modellalapú rendszertervezés (MBSE) a kritikus rendszerek komplexitásának kezelésében alapvető fontosságú módszertanná vált, amely a modelleket a pontosság, a megérthetőség és az újrafelhasználhatóság fokozására használja fel.

A verifikációs és validációs (V&V) technikák központi szerepet játszanak az MBSE-ben, biztosítva a szerkezeti helyességet és a viselkedésnek a specifikációkhoz való megfelelőségét. Az egyedi szemantikával rendelkező szakterület-specifikus nyelvek (DSL) elterjedése azonban gyakran nehezíti a meglévő V&V megoldások újrafelhasználását és integrálását a meglévő munkafolyamatokba.

Kutatásom során egy konfigurálható V&V keretrendszert készíték, amely a statikus és dinamikus elemzést integrálja szemantikus könyvtárak felhasználásával a nyelvi struktúra, a jólformáltsági kényszerek és a szemantika enkapszulálására. Azáltal, hogy a szemantikai könyvtárakra támaszkodunk a hard-kódolt transzformációs láncok helyett, újabb magas szintű nyelvek támogatása transzformációs feladat helyett egy modellezési feladattá válik, így lehetővé téve a meglévő nyelvi szemantikák finomítását és újrafelhasználását, ezáltal egyszerűsítve a munkafolyamatot.

A javasolt keretrendszer megvalósíthatóságának igazolását a Semantifyr nyílt forráskódú eszközzel és az OpenMBEE Space Mission modelljének felhasználásával mutatom be.

TELJESÍTMÉNY ELEKTRONIKA ÉS SZABÁLYOZÁSTECHNIKA

Bándy Kristóf Gábor

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Adatvezérelt prediktív szabályozási algoritmusok vizsgálata teljesítményelektronikai átalakítókban

Az elmúlt évtizedben számos új teljesítményelektronikai átalakító topológia került kidolgozásra és alkalmazásra villamos hajtásokban és hálózati rendszerekben. Ezeknek az átalakítóknak a zárt hurokban történő szabályozása során a modell prediktív szabályozási stratégia megfelelő választás lehet a klasszikus, lineáris szabályozók alkalmazására épülő megoldásokkal szemben. A modell prediktív szabályozó működése során a rendszer modellje alapján képes előre megjósolni, hogy egy adott beavatkozás, milyen állapotba juttatja a rendszert. Ugyanakkor a kapcsolóelemek számának növekedésével drasztikusan megnő a lehetséges beavatkozási lehetőségek, konfigurációk száma, amely kihívást jelent a prediktív szabályozási stratégiák valós idejű megvalósításának szempontjából, akár a megfelelő költségfüggvény megválasztását, akár az alkalmazott rendezési algoritmusokat tekintve.

A kutatás célja LC szűrővel kiegészített háromfázisú villamos hajtások modell prediktív alapú szabályozásának vizsgálata és a kapcsolódó algoritmusok fejlesztése volt. Mivel ezen összetettebb rendszereknek több állapotváltozója van egy hagyományos villamos hajtás modelljéhez képest, ezért a prediktív szabályozási megoldások is komoly számítási igényvel rendelkeznek, különösen a folytonos beavatkozású algoritmusok esetében. A kutatási pályázat során a kiegészített hajtásrendszer rendszer mezőgyengítéssel tartományban való működése lett elemezve és optimalizálva.

Kováts Bence Csaba

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Mesterséges Intelligencia és Rendszertervezés Tanszék

Inverz adaptív szűrők alkalmazása a szabályozástechnikában

Kutatásom az adaptív jelfeldolgozási eljárások és a szabályozástechnika kapcsolódási pontjainak vizsgálatára irányult, különös tekintettel az inverz adaptív szűrők szabályozási körökben történő alkalmazhatóságára. A munka elsődleges célja a különféle adaptív algoritmusok - elsősorban az LMS, RLS és azok változatainak - szisztematikus elemzése, valamint teljesítményük, stabilitásuk és korlátaik objektív összehasonlítása a hagyományos PID szabályozási architektúrákkal. A módszertan MATLAB és Simulink környezetben végzett szimulációs eljárásokra épül. A folyamat első szakaszában egyszerű adaptív inverz szabályozási (AIC) körök összeállítása és vizsgálata történt meg az alapvető dinamikai és stabilitási tulajdonságok meghatározása érdekében. Ezt követően egy összetettebb vizsgálat keretében közvetlen összehasonlítás valósult meg a klasszikus PID szabályozás és az adaptív inverz vezérlés, illetve szabályozás között. A szimulációk során mind időinvariáns, mind idővariáns lineáris rendszereket alkalmaztam a szabályozók adaptációs képességének tesztelésére, mérve a szabályozási paraméterek változását. A modellek hitelességének érdekében valós, széles körben elterjedt mintarendszereket vettem alapul. Az eredmények rávilágítottak, hogy az adaptív inverz megoldások a hagyományos PID szabályozóknál stabilabb és szélesebb tartományban üzembiztos működést tesznek lehetővé, különösen változó paraméterű rendszerek esetén. A kapott adatokból arra is következtetni lehet, hogy a módszertan vélhetően nemlineáris rendszerek esetén is megbízhatóan alkalmazható lesz. Ugyanakkor megállapítást nyert, hogy ezek a rendszerek jelentősebb számítási kapacitást igényelnek és a paraméterezés bonyolultsága miatt kevésbé felhasználóbarátok a klasszikus megoldásokhoz képest.

Orvai Róbert

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Energiahatékony teljesítményelektronikai rendszerek: topológiák és irányítás

Elektromos eszközeink zavartalan működését az elektromágneses kompatibilitás (EMC) szakterülete biztosítja. Mivel egyre több elektromos eszköz vesz körül bennünket, az EMC-re is egyre nagyobb feladat hárul. Ez különösen igaz teljesítményelektronikai rendszerekben, mint például elektromos járművek hajtásláncaiban. Az emelkedő kapcsolási frekvenciák, valamint feszültség- és áramszintek következtében az áramirányítók által létrehozott elektromágneses interferencia (EMI) is növekszik. Csillapítására EMI-szűrőket alkalmazunk. A megfelelő mértékű zavarelnyomás eléréséhez ezeknek a szűrőknek a mérete, súlya, ára számottevő részét képezik a teljes rendszernek. Annak érdekében, hogy az EMC biztosítása a jelen és a jövő teljesítményelektronikai rendszereiben is hatékony módon történhessen, ezen kutatás célja olyan eljárások kidolgozása, amelyekkel EMI-szűrők többcélú optimalizálása valósítható meg. A többcélú optimalizálás technikájával egyszerre több, egymásnak ellentmondó szempont szerint tervezhetjük meg EMI-szűrőinket. Ehhez speciális genetikus algoritmusok alkalmazhatók a mesterséges intelligencia világából. A kutatás várható eredménye egy olyan genetikus algoritmusokon alapuló, többcélú optimalizálási eljárás, amellyel hatékony módon valósítható meg EMI-szűrők tervezése teljesítményelektronikai rendszerekhez.

Püspöki Péter

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék

Műholdfedélzeti energia ellátó és földi támogató rendszerek optimalizálása CubeSat és PocketQube osztályú (diák)műholdak számára

A kutatásom során a szakirodalomban található eredményekre alapozva egy moduláris, skálázható és különböző méretkategóriájú kisműholdakon alkalmazható energiaellátó rendszer kidolgozásával foglalkoztam. Megterveztem és elkészítettem a nyomtatott áramköröket, majd a komponensek beültetésével összeállítottam az első prototípusokat. A laboratóriumi tesztek alatt különböző szimulált működési környezetekben vizsgáltam a rendszerek működését, hatékonyságát és megbízhatóságát. Kiemelt figyelmet fordítva arra, hogy a fejlesztett megoldások hosszú távon is stabil és biztonságos működést garantáljanak, hiszen a műholdas rendszerek esetében nincs lehetőség a helyszíni karbantartásra, hibaelhárításra. A kutatás gyakorlati szakaszában megvalósult HUNITY műhold 2025 novemberében Föld körüli pályára állt, az első rendszer szintű tesztek alapján megfelelően működik. A műholdon a kutatásom és fejlesztő munkám eredményeként az energia ellátó rendszer a laboratóriumi tesztek eredményeit visszaigazolvva valós űrbéli környezetben is megfelelően teljesíti a feladatát. Ezzel párhuzamosan egy földi pályányon lehetőségem van folyamatosan tesztek végezni, így a kutatás utolsó szakaszában lehetőség nyílt további kísérletek és elvégzésére laboratóriumi és valós környezetben egyidőben.

Stranyóczy László

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Hálózati és DC táplálású moduláris energiaátalakító rendszerek topológiai és vezérlési megközelítései drónplatformokhoz

A kutatás keretében DC-DC energiaátalakító rendszerek topológiai, modellezési és elemzési kérdései kerültek vizsgálatra, elsősorban akkumulátoros táplálású, mobil alkalmazások energiaellátási igényeit szem előtt tartásával. A munka egyik iránya nagy teljesítménysűrűségű, drónplatformokhoz illeszkedő DC-DC tápegységek koncepcionális fejlesztése és vizsgálata volt, míg egy másik irány a nagy hatásfokú, galvanikusan leválasztott DC-DC átalakítók részletes szimulációs és veszteségelemzési módszertanára fókuszált.

A kutatás során olyan szimulációs megközelítések kerültek elemzésre, amelyek lehetővé teszik komplex DC-DC átalakítók működésének hatékony vizsgálatát anélkül, hogy teljes részletességű, számításigényes modellek alkalmazása válna szükségessé. Az egyszerűsített, idealizált modellekből származtatott hullámformák utófeldolgozása alkalmas a valós áram- és feszültségviszonyok, valamint a fő veszteségi komponensek becslésére.

Az eredmények hozzájárulnak nagy hatásfokú DC-DC energiaátalakítók tervezési és elemzési módszereinek bővítéséhez, összhangban a pályázatban megfogalmazott DC táplálású energiaátalakító rendszerekre vonatkozó kutatási célkitűzésekkel.

Szécsényi Nándor

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Mesterséges intelligencia alkalmazásának vizsgálata teljesítményelektronikai átalakítók szabályozásában

Az elmúlt években a mesterséges intelligencia alapú megoldások sikeresen bizonyították, hogy több komplex feladatban is képesek felülmúlni az emberi teljesítményt. A gépi tanulás, mint a mesterséges intelligencia egyik ága, a teljesítményelektronikai átalakítók és szabályozott villamos hajtások területén is új lehetőségeket nyithat meg, valamint az utóbbi időszakban kiemelt hangsúlyt kapott az egyik formája: a megerősítéses tanulás (Reinforcement Learning, RL).

A kutatás kezdetén összehasonlítottam a Python és MATLAB által nyújtott szolgáltatásokat az RL alapú szabályozás terén. Az összehasonlítás során sikerült egy jól alkalmazható munkafolyamatot is kialakítanom, amely segítségével áthidalhatóak a környezetek hiányosságai és kombinálhatóak azok előnyei: érdemes az ágens tanítását a Python környezetben elvégezni, ahol kifinomultabb a mesterséges intelligencia támogatás, majd átemelni a MATLAB környezetbe, ahol részletesebb szimuláció érhető el és így jobban validálható a szabályozás.

Ezzel párhuzamosan rendszereztem az RL ágens tervezése és implementációja során fontos szempontokat és döntéseket, melyek korábban nem voltak világosan definiálva a teljesítményelektronika területén. A tervezés során azonosítottam a legfontosabb hiperparamétereket is és javaslatot adtam azok értékeire, ugyanis ezek az ágens tanulása közben nem változnak, mégis nagy befolyással vannak annak teljesítményére. A tervezési elveket később kiegészítettem egy egyedi és összetett jutalomrendszerrel is, ami bevezeti a biztonságos, büntetett és tiltott állapottartományokat egy egyedi skálázási és normalizációs technikával, ezzel garantálva az ágens helyes működését és hatékonyabbá téve a tanítását.

A kutatás második szakaszában áttértem egy hibrid szabályozási struktúra implementálására. Ebben az esetben az RL ágens egy hagyományos lineáris szabályozó kimenetét hivatott pozitívan befolyásolni, ezzel javítva az összetett metrikáit a szabályozásnak, amelyek enélkül nehezen befolyásolhatóak lennének csak hagyományos irányítással. Az így kapott hibrid struktúra emellett, az RL ágens kitűnő adaptációs képességeinek köszönhetően, képes a környezeti változásokra való dinamikus adaptációra is, amely gyakran a hagyományos struktúrák egyik nagy hiányossága.

A kutatás következő fázisában a Pseudo ANC metódust kezdtem el megtervezni: a leszűrt következtetések alapján választottam a fentebb részletezett hibrid architektúrát, amely képes lehet az elektromos hajtásokban keletkező zajok aktív kioltására a szabályozás adaptív módosításán keresztül. A zajcsökkentés kivitelezéséhez az alapötlet különböző hanghullámok injektálása a szabályozott jellemzőkbe, amelyeket az észlelt zajok alapján tudunk megfelelően előállítani. Mivel ez egy kisebb, de dinamikus módosítást jelent a szabályozásban, éppen megfelelő a hibrid szabályozó struktúra számára, amely az RL ágens révén képes a megadott hullámokat a lineáris szabályozó által szabályozott jelekre ráilleszteni az irányítás jelentős romlása nélkül.

Tóth-Katona Tamás

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Elektromechanikus aktuátorok modell alapú szabályozása: Szintézis

A 21. század egyik domináns mérnöki területe az elektrifikáció, amely különösen a robotika és a járműipar területén mutatkozik meg. A modern elektromechanikus rendszerek fejlesztése során komplex mérnöki kihívásokkal kell szembenéznünk: a szigorú helytakarékossági elvárások mellett biztosítani kell az energiahatékony motorvezérlést, valamint a precíz mozgásszabályozást a fellépő belső veszteségek és súrlódások ellenére is. A követelményeknek és a modern megbízhatósági elvárásoknak megfelelően ezen alkalmazásokban egyre inkább a mélyen beültetett mágnesekkel rendelkező szinkron motorok (IPMSM) terjednek el.

Ezen motorok irányítása jellemzően mezőorientált szabályozással történik, azonban pontos és géptípus specifikus szabályozásuk továbbra is komoly kihívást jelent. A szabályozási feladatot tovább nehezíti az applikációkban jelen lévő mechanikai elemekből eredő nehezen modellezhető jelenségek, mint például súrlódások és holtjátékok által okozott nemlinearitások. Ezen nemlinearitásokat gyakran szoftver oldalon aktív zavarkompenzáláson alapuló szabályozással kompenzálják, ezzel növelve a rendszer robosztusságát.

Jelen konferenciaközlemény egy modern elektromechanikus aktuátor kaszkád pozíció- és nyomaték szabályozásának szintézisét mutatja be. A belső áramszabályozóhoz kapcsolódóan a cikk bemutatja a jelentősebb veszteségi komponenseket, vizsgálja a mezőgyengítési tartományt, a választott áramreferencia-generálási módszer előnyeit, valamint a dinamikus szakaszokban fellépő szabályozó telítődési problémát. Mozcásszabályozási oldalról a közlemény kitér a száraz súrlódásra és a viszkózus csillapításra, bemutatja az adaptív pozíciószabályozási algoritmust, valamint a paraméterbecslő algoritmust és a Kálmán-szűrő alapú terhelésbecslőt. Az elméleti megfontolásokat szimulációs eredményekkel támasztjuk alá.

VILLAMOSENERGIA-RENDSZEREK

Babai András

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamos Energetika Tanszék

Inerciaeloszlás hatása - a frekvenciaváltozás meredekségére vett hatások vizsgálata szinkrongépek esetén

Az elmúlt évtizedekben az áramtermelés jelentős változásokon ment keresztül. A hagyományos szinkron generátorokon alapuló termelést egyre inkább felváltják a megújuló energiaforrások (RES), mint például a fotovoltaius (PV) erőművek és a szélturbinák (WTG). Bár ezek a technológiák egyértelmű környezeti előnyökkel járnak, integrálásuk jelentős kihívásokat jelent az átviteli rendszer működése szempontjából. Jellegükénél fogva kiszámíthatatlanok és inverter alapú energiaátalakításuk csökkenti a rendszer stabilitását és megbízhatóságát. Ezek a problémák még kritikusabbá válnak nagy zavarok vagy rendszerelválasztások esetén, amelyek végső soron széles körű áramkimaradásokhoz vezethetnek. Ezen kihívások kezelése érdekében elengedhetetlenül fontos megérteni a magas RES-penetrációjú villamosenergia-rendszerek viselkedését különböző üzemeltetési forgatókönyvekben. Egy szélesebb körű kutatási projekt részeként a hosszú távú cél egy olyan modell kidolgozása, amely képes szimulálni a közép-európai szinkron terület viselkedését rendszerelválasztások esetén.

Ez a kutatás előkészítő munkaként szolgál ehhez a célhoz és a két fő megújuló energiaforrás-technológia, a fotovoltaius erőművek és a szélturbinák modellezési megközelítéseire összpontosít. Áttekinti a legfontosabb megújuló energiaforrás típusokat, megvitatja azok modellezési lehetőségeit és részletes leírást ad a kiválasztott modellekről.

Ezeket a modelleket ezután egy egycsomópontos tesztrendszerben valósítják meg, amelynek célja a 2021. január 8-i rendszerelválasztási esemény reprodukálása. A különböző hálózati konfigurációk szimulált frekvenciaválasztát összehasonlítják a tényleges zavar mért adataival. Az esettanulmányok azt mutatják, hogy a megújuló energiaforrások szerepe messze túlmutat a hálózat destabilizáló tényezőjeként betöltött szerepén. Megfelelő szabályozási stratégiák alkalmazásával a megújuló energiaforrások jelentősen hozzájárulhatnak a frekvenciatámogatáshoz és a hálózat általános stabilitásához.

Dürgő Gergely

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamos Energetika Tanszék

Tároló digitális iker modellezése és vizsgálata kiberfizikai villamosenergia-rendszeren

Az információs és kommunikációs technológiák fejlődése és elterjedése az energiaszektor működéését is alapvetően átalakítja. Az intelligens hálózatok, a fejlett mérési és felügyeleti rendszerek, valamint a valós idejű adatkapcsolatok új lehetőségeket teremtenek az üzemeltetés, az optimalizáció és a rugalmasság növelése terén. Ezzel párhuzamosan a kiberbiztonság szerepe is felértékelődik, amely számos nemzetközi irányelv és szabvány, például a NIS2, az NCCS, az IEC 62443 és az IEC 27019 megjelenéséhez vezetett a kritikus infrastruktúrák védelme érdekében.

A növekvő rendszerkomplexitás ugyanakkor felveti annak a kérdését, hogy mindez miként befolyásolja az energetikai kritikus infrastruktúrák sérülékenységet és az egyes üzemirányítási szintek kölcsönhatását. A rendszer sérülékenységeinek feltárásához kiberfizikai tesztkörnyezetek (CPPS Testbeds) alkalmazására van szükség, amelyek kontrollált, holisztikus modellezést tesznek lehetővé többek között kommunikációs kitettségek, kiberbiztonsági események és szabályozási algoritmusok működésének elemzésére anélkül, hogy a villamosenergia-rendszer üzembiztonságát veszélyeztetnék.

A villamosenergia-rendszerek fenntarthatóbbá tételét ösztönző Fit for 55, REPowerEU és Digitalising the Energy System irányelvek a megújuló energiaforrások integrációját, a rendszer rugalmasságának növelését és a digitalizációt helyezik előtérbe, ami az akkumulátoros energiatároló rendszerek egyre szélesebb körű alkalmazásához vezet. Ahogy a villamosenergia-rendszerek működésében egyre nagyobb hangsúlyt kap az adatvezérelt megközelítés, amely a valós idejű adatgyűjtésre, a fejlett mérési infrastruktúrára és az automatizált szabályozási megoldásokra támaszkodik, a tárolók belső folyamatait leíró digitális iker is kulcsszerepet játszanak a jövőbeli üzemeltetési stratégiák kialakításában. Alapvető kérdés, hogy e két, önállóan is működő, ugyanakkor szorosan összefüggő problémakör megoldására javasolt szimulációs keretrendszer miként kapcsolható össze és hogyan tehető képessé valós idejű adatcserére. Ez a megközelítés képes megteremteni a rendszerszintű hatások egységes elemzésének, valamint különféle szimulációs és zavarási forgatókönyvek vizsgálatának alapját.

A kutatás egy ilyen integráció gyakorlati megvalósítását mutatja be egy kiberfizikai villamosenergia-rendszer és egy energiatároló digitális ikerének valós idejű szimulációján keresztül. A villamos és kommunikációs interfészek biztosítják a két rendszer közötti adatcserét és kölcsönhatást, lehetővé téve a szabályozási, stabilitási és sérülékenységi folyamatok vizsgálatát.

Galó András

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamos Energetika Tanszék

Rendszerstabilitás-vizsgálatok immittancia-alapú megközelítéssel

A kutatás a villamosenergia-rendszerek dinamikus modellezésére és stabilitásvizsgálatára fókuszál. Ahogy a hagyományos forgógépek fokozatosan átadják helyüket a megújuló energiaforrásoknak, a villamosenergia-rendszerek dinamikája egyre összetettebbé és kevésbé kiszámíthatóvá válik.

A kutatás célja a szinkron gépek analitikus modelljének levezetése, amely alapul szolgál e rendszerek dinamikus viselkedésének megértéséhez. A kutatás az immittanciaalapú stabilitásvizsgálat módszerét alkalmazva validálja szinkron gép dinamikus modelljét frekvenciatartománybeli impedanciamérések segítségével MATLAB Simulink környezetben. A vizsgálat kiterjed a szinkron gépek gerjesztésszabályozóinak hatására is: bemutatásra kerülnek a különböző szabályozótípusok, analitikusan meghatározott immittancia-karakterisztikáik, valamint ezek méréssel történő validálása. Ezen túlmenően a kutatás érinti a turbinaszabályozók és lengéscsillapító (PSS) szabályozók hatásának vizsgálatát is, valamint kiterjed egy szinkron gépes és konverteres termelőket is tartalmazó teszhálózatra is, mérésalapú, szimulációs környezetben.

Az eredmények részletes képet adnak arról, hogyan befolyásolják a különböző szabályozók a rendszer dinamikus viselkedését és stabilitását. Ez a megközelítés kulcsfontosságú betekintést nyújt a rendszer stabilitásába a munkapont környezetében és segít azonosítani azokat a rezonanciapontokat, amelyek oszcillációkhoz és potenciális instabilitáshoz vezethetnek.

A kutatás elméleti modellezést és gyakorlati validálást ötvözve járul hozzá a növekvő szakirodalomhoz, amelynek célja a villamosenergia-rendszerek ellenállóképességének és stabilitásának növelése az átalakuló termelési technológiák korszakában.

Juhász Kristóf Péter

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamos Energetika Tanszék

Szintetikus inercia villamosenergia-rendszerre gyakorolt hatásainak elemzése

A villamosenergia-rendszer átalakulóban van. A megújuló energiaforrások térnyerésével egyre több teljesítményelektronikán keresztül csatlakozó termelőegység jelenik meg a villamosenergia-rendszerben, amelyek korábban használt szinkrongenerátorokkal eltérően nem rendelkeznek forgó tömeggel. Ez a rendszer inerciájának csökkenéséhez, amely miatt a villamosenergia-rendszer kiszolgáltatottabbá válhat a különböző zavaroknak. Jelen kutatás célja a szintetikus inercia alkalmazásának vizsgálata és optimalizálása a rendszerstabilitás javítása érdekében. A kutatás során egyrészt sor kerül a jelenlegi és jövőbeli rendszerek inerciális viselkedésének modellezésére, másrészt egy olyan szabályozási stratégia kidolgozására, amely lehetővé teszi a szintetikus inercia dinamikus és hatékony alkalmazását eltérő hálózati körülmények között. A fejlesztett módszerek hozzájárulnak a fenntartható, megbízható és megújuló alapú villamosenergia-hálózat kialakításához, valamint támogatják a hazai és európai klímasemlegességi célkitűzések elérését.

Táczai István

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamos Energetika Tanszék

Stabilitás indikátorok térbeli és időbeli sajátosságai villamosenergia-rendszerekben

A villamosenergia-rendszerek átalakulása, különösen a teljesítményelektronika-alapú termelők arányának növekedése, új kihívások elé állítja a rendszerstabilitás értékelését. A hagyományos mutatók és modellezési megközelítések korlátozottan ragadják meg az alacsony inerciájú rendszerek gyors és topológiafüggő dinamikai folyamatait, ezért a kutatás a stabilitási indikátorok térbeli és időbeli sajátosságainak többszempontú vizsgálatára fókuszál. A középpontban annak elemzése áll, hogy a hálózati topológia, az üzemi állapot, az inerciamegoszlás és a modellrészletezettség miként befolyásolja a különböző stabilitási indikátorok értelmezhetőségét és alkalmazhatóságát.

A módszertan a különböző felbontású időtartománybeli szimulációkra, valamint közvetlen stabilitásvizsgálati eljárásokra épül. Az elemzés scenárióalapú keretben zajlik, ahol a termelői mix, a topológiai szerkezet, a térbeli granularitás és a működési paraméterek szisztematikusan változnak. A vizsgálat nem új indikátor bevezetésére koncentrál, hanem a szakirodalomban elérhető frekvencia-, rotorszög-, feszültség- és kompozit mutatók egységes értékelési keretben történő összevetésére. A frekvenciatartományhoz kapcsolódó jellemzők, így például a ROCOF, a frekvenciaminimum, a beállási idő és az inerciaküszöb mellett megjelennek a rotorszög-eltéréshez, a tranziens stabilitáshoz.

A kutatás kiemelt eleme az inerciamegoszlás és a hálózati szerkezet kapcsolatának feltárása. Ennek részeként topológiai és inerciaviszonyok alapján definiált részrendszerek, illetve gyengén kapcsolt „szigetek” azonosítása történik. A feldolgozás statisztikai és gráfelméleti eszközöket alkalmaz, többek között főkomponens-elemzést, érzékenységvizsgálatot, klaszterezést, továbbá olyan hálózati metrikákat, mint a csomóponti központiság, a modularitás, a gráfátmérő vagy a klaszterezési együttható. A megközelítés tesztrendszereken és reprodukálható benchmark hálózatokon értelmezi a topológiai és fizikai heterogenitás hatását.

A munka eredménye egy olyan egységes, topológia- és időfüggő értékelési keret, amely megbízhatóbban írja le a stabilitási indikátorok érvényességi tartományát vegyes termelési portfóliójú, alacsony inerciájú villamosenergia-rendszerekben. Ez a keret közvetlenül támogatja az üzemelőképzést, a közel valós idejű döntéstámogatást és a megújuló energiaforrások biztonságosabb rendszerintegrációját.

Török Regina

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamos Energetika Tanszék

Inerciaeloszlás hatása - a frekvenciaváltozás meredekségére vett hatások vizsgálata inverteres termelőegységek esetén

A villamosenergia-rendszerek átalakulása, különösen a megújuló alapú inverteres termelés térnyerése új kihívásokat jelent a frekvenciaszabályozás számára.

A frekvenciastabilitás alapvető követelménye, hogy a fogyasztás-termelés egyensúlya minden pillanatban fennálljon. Ha ez nem teljesül, akkor a rendszer frekvenciája változni fog; a frekvenciaváltozás kezdeti meredekségét pedig a rendszerben található inercia határozza meg. Az inercia a forgó tömeggel rendelkező hagyományos szinkrongépek esetén inherensen jelen van, a teljesítményelektronikával hálózatra kapcsolódó egységek esetén azonban gyakorlatilag nincs inerciális hozzájárulás a frekvencia változásához. Emiatt fontos látni, hogy az összekapcsolt európai szinkronrendszerben az inercia csökkenésével hogyan változik a frekvenciagradiens, hiszen ez alapvetően befolyásolja a rendszer stabilitását.

Célom az inverteres termelők frekvenciára gyakorolt hatásának vizsgálata volt, valamint a szintetikus inercia alkalmazásának értékelése. Ehhez egy egy-csomópontos modellt vettem alapul, amely a 2021. január 8-i rendszerbomlás során rögzített frekvenciaváltozás alapján validált. A modellt inverteres termeléssel egészítettem ki, a WECC Generic Solar Photovoltaic System Dynamic Simulation Model-lel saját szintetikus inercia szabályozással bővítettem.

Vizsgáltam, hogy az inverterek oldalán megvalósított virtuális inercia segítségével (adott esetben a szinkrongépes fizikai inerciánál agresszívebb választ kiváltva) hogyan lehet javítani a rendszer stabilitását.

A szimulációk eredményei alapján megállapítható, hogy a megfelelően szabályozott inverteres termelés és a virtuális inercia jelentősen javíthatja a frekvenciastabilitást, csökkentve a kilengések nagyságát. Kutatásom rávilágít a további fejlesztési lehetőségekre, amelyek hozzájárulhatnak a magas megújuló arányú rendszerek biztonságos üzemeltetéséhez.

Török Regina

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamos Energetika Tanszék

Inerciaeloszlás hatása - összeurópai ekvivalens hálózatmodell

A kutatás során egy olyan ekvivalens hálózatmodell került kidolgozásra, amely az összeurópai szinkronjáró villamosenergia-rendszert országonként egy csomópont-egy gép reprezentációval képes leírni. A modell a részletes hálózati topológiát és rendszerösszeköttetéseket ekvivalens paraméterekkel helyettesíti, ezáltal lehetővé teszi a nagyléptékű rendszerdinamikai folyamatok hatékony és gyors vizsgálatát. Az alkalmazott módszertan biztosítja, hogy az inerciális és frekvenciadinamikai jellemzők megfelelő pontossággal megőrződjenek az egyszerűsített modellben is.

A modell alkalmazásával különböző rendszerbomlási szituációk kerültek elemzésre, kiemelten a magyar villamosenergia-rendszer szempontjából. A vizsgálatok során jelenlegi és jövőbeni inercia scénáriók, valamint a különböző országok inerciájának változása is figyelembevételre került. Az elemzések lehetővé tették annak meghatározását, hogy egyes rendszerösszeköttetések mentén bekövetkező szétválások esetén milyen frekvenciadinamikai viselkedés várható.

A modell segítségével azonosíthatók olyan kritikus inercia-tartományok, ahol a frekvenciamegtartó képesség romlik, illetve elégtelenné válhat. A vizsgálatok célja annak feltárása, hogy a hazai rendszer inerciája milyen mértékben járulhat hozzá a frekvenciatranziens jelenségek kezeléséhez eltérő külső feltételek mellett. A kutatás hozzájárul a rendszerbiztonság jobb megértéséhez és a jövőbeni üzemviteli döntések megalapozásához.

ISBN 978-615-112-018-7