

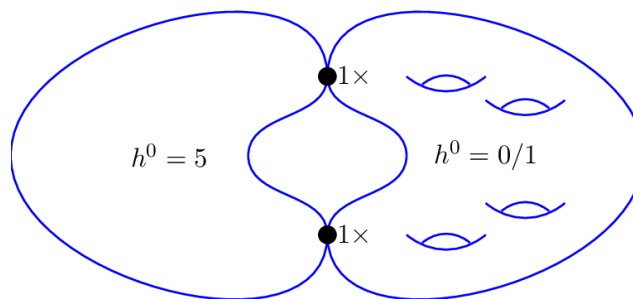
## I. Kiemelt tudományos eredmények 2020-ban

### Digitalizáció

Kutatási egység: Algebrai geometria és differenciátopológia osztály

Publikáció: Nagy J, Némethi A: The Abel map for surface singularities II. Generic analytic structure, ADVANCES IN MATHEMATICS 371: Paper: 107268 (2020) <http://real.mtak.hu/122159/>

A klasszikus algebrai geometria egyik centrális kutatási területe a Brill–Noether-elmélet. Ez az algebrai görbék tulajdonságait tanulmányozza. Az algebrai görbéket régebben még többdimenziós polinomok zérushelyeiként írták le, a modern geometria már absztrakt görbéként képzelel el őket, és pont a Brill–Noether-elmélet az, amely ezen görbéknek a projektív terekbe való különböző beágyazhatóságait tanulmányozza. (1. ábra) Ezeket a görbén értelmezhető vonalnyalábok kohomológiái írják le. A válasz függhet a görbe algebrai tulajdonságaitól, a hagyományos Brill–Noether-elmélet a generikus struktúrát célozza meg. A fő technikai apparátus az Abel-leképezés, amely divizorokhoz vonalnyalábokat rendel, és a leképezés fibrum-struktúrája hordozza a kulcsinformációt.



1. Komplex görbék és Brill–Noether-elmélet

Nagy János és Némethi András az utóbbi években írt cikksorozatban kidolgozta az Abel-leképezések elméletét a komplex analitikus felületsingularitások esetére, és a klasszikus Brill–Noether-feladatkör számos kérdését válaszolta meg ebben az esetben. Itt nem csak az eggyel magasabb dimenzió akadályait kellett legyőzni, hanem a szingularitás-elmélet számos technikai eredményét kellett beépíteni az új elméletbe. (Ezek írják le egy felületen megjelenő degenerált, szinguláris pont jellemzőit.)

Az új környezet, ahol a vonalnyalábok kohomológiáit meg kell határozni, az a felület szingularitás feloldásának tere, amely bizonyos (úgynevezett kivételes) görbék infinitezimális környezete. Itt kellett a divizorok terét és az új Abel-leképezést értelmezni, meghatározni a fibrum-struktúrát, kiszámítani a vonalnyalábok kohomológiáit, és jellemezni azon eseteket amikor az Abel-leképezés domináns. Ez az úttörő munka hét cikkben jelent meg, a munka folytatódik.

A cikksorozat második cikke (amelyet az Advances in Mathematics közölt le) tanulmányozza a generikus analitikus esetet (amely a klasszikus Brill–Noether-eset megfelelője). Az eredmények

rávilágítanak a felületszingularitások két alaposztályozásának egymásra hatására is. Az egyik a topológiai osztályozás, azon tulajdonságok jellemzése, amik csak a topológiától függenek, és amelyek a feloldási gráfból kombinatorikusan (elvileg) kiszámolhatók. Ezzel szemben az analitikus (algebrai) invariánsok sokkal mélyebb tulajdonságokat hordoznak, meghatározásuk néha reménytelen. Ennek ellenére a fenti cikkben a szerzőknek sikerült a generikus struktúra esetében leírni a legfontosabb analitikus invariánsokat a feloldási gráf kombinatorikájából. Ezen eredmények az Abel-leképezés bevezetése előtt teljesen reménytelennek számítottak. Ez határozottan igazolja az újonnan bevezetett Abel-leképezés fontosságát és erejét. Az a tény is kihangsúlyozandó, hogy az invariánsokra újonnan talált formulák is teljesen új típusúak, a topologikus kifejezések teljes átgondolására és újraértékelésére ösztökélnek.

Az újonnan meghatározott invariánsok között vannak a következők: a geometriai nem (génusz), a természetes vonal nyalábok kohomológiái, a lokális függvényalgebra különböző diszkrét jellemzője (mint a Hilbert-sor, vagy Poincaré-sor). Továbbá pár olyan ciklus azonosítása, amelyek az analitikus típust jellemzik: a maximális ideál ciklusa vagy a kohomológiai ciklus. A bizonyítások részben Laufer forradalmának értékelt deformáció-elméleti munkáira támaszkodnak, de ezek mellett számos új szerkesztés és ötlet vezetett a végső eredményekhez.

## Digitalizáció

Kutatási egység: Csoportok és gráfok Lendület-kutatócsoport

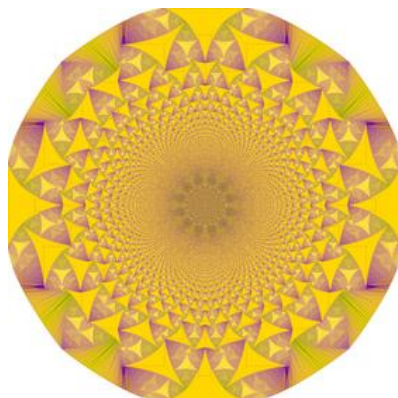
Publikációk:

Mészáros A: The distribution of sandpile groups of random regular graphs, TRANSACTIONS OF THE AMERICAN MATHEMATICAL SOCIETY 373: 6529-6594. (2020)

<http://real.mtak.hu/112305/>

Mészáros A: Limiting entropy of determinantal processes, ANNALS OF PROBABILITY 48:5 2615-2643. (2020) <http://real.mtak.hu/112304/>

Mészáros András bebizonyította, hogy  $d \geq 3$ -ra véletlen  $d$ -reguláris irányított gráfok sandpile csoportjának  $p$ -Sylow részcsoportha a Cohen–Lenstra-heurisztikát követi, azaz, ha a csúcsok számával a végtelenbe tartunk, határértékben annak a valószínűsége, hogy a sandpile csoport  $p$ -Sylowja egy adott  $G$  véges kommutatív  $p$ -csoporttal izomorf, arányos  $|\text{Aut}(G)|$  inverzével. (2. ábra) Ez az eloszlás először Cohen és Lestra egy számelméleti sejtésében jelent meg. Mivel a sandpile csoportot úgy definiáljuk, mint a gráf redukált Laplace-mátrixának komagját, a fenti eredmény szempontjából relevánsabb Wood következő eredménye. Tekintsünk egy véletlen négyzetes mátrixot, ahol a mátrix elemei egész számok, függetlenek és nem-elfajultak egy bizonyos értelemben. Ekkor ezen mátrix komagjának  $p$ -Sylow részcsoportha aszimptotikusan a Cohen–Lenstra-heurisztikát követi. Mivel a véletlen  $d$ -reguláris gráfok Laplace-mátrixának elemei messze nem függetlenek, továbbá ezen mátrixok sokkal ritkábbak, mint a Wood eredményében szereplő mátrixok, ezért meglepő, hogy ezen véletlen mátrixok komagjainak  $p$ -Sylow részcsoporthai ugyanúgy viselkednek.

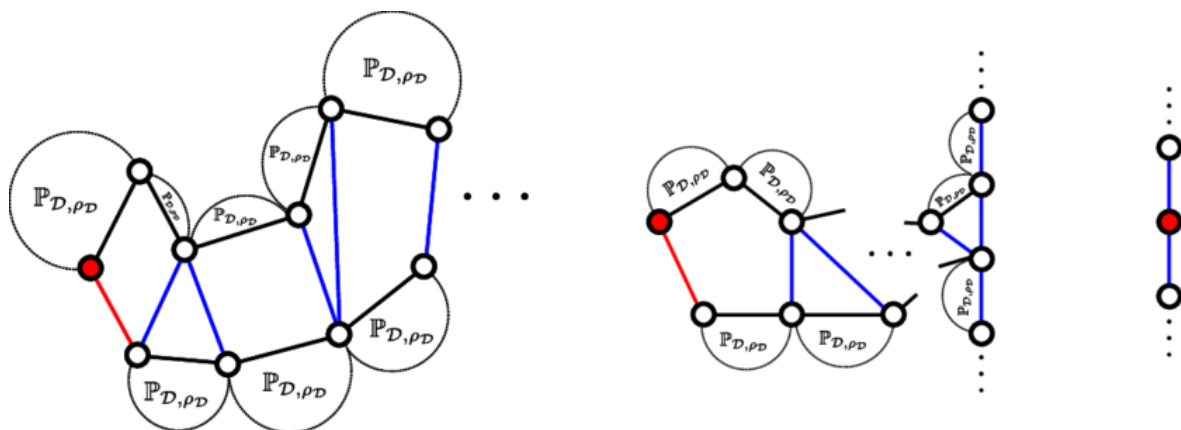


2. Egy sandpile csoport

Mészáros a véletlen  $d$ -reguláris irányítatlan gráfok sandpile csoportja  $p$ -Sylow részcsoportjának is meghatározta a határeloszlását, ez páratlan  $p$ -re egybeesik a Clancy, Leake, Kaplan, Payne és Wood által vizsgált eloszlással, ami a sűrű Erdős–Rényi-gráfok sandpile csoportjának Wood által vizsgált limeszében is felbukkan. Azonban, ha  $d$  páros és  $p = 2$ , akkor egy eddig nem vizsgált határeloszlást kapunk.

Mészáros eredményeinek egy további következménye az, hogy minden fix  $d \geq 3$ -ra annak a valószínűsége, hogy egy véletlen  $d$ -reguláris gráf adjacencia mátrixa szinguláris, a nullához tart, ahogy a csúcsok száma tart végtelenhez. Ez megválaszolja Frieze és Vu egy nyitott kérdését. Ezt a problémát tőle függetlenül Huang is megoldotta.

Hasonló gondolatok kerültek alkalmazásra a következő (szintén Mészáros által megoldott) problémában. Vegyünk egy véges gráfot és egy  $r$  látósugarat. Válasszuk ki a gráf egy uniform véletlen csúcsát, amit gyökérnek nevezünk, majd tekintsük ennek a véletlen gyökérnek az  $r$  sugarú környezetét, így egy véletlen gyökeres  $r$  sugarú környezetet kapunk. Most vegyünk két gráfot. Azt mondjuk, hogy ezek lokális értelemben közel vannak egymáshoz, ha egy kellően nagy  $r$  sugárra, a fenti módon definiált véletlen környezetek eloszlása a két gráfra közel van egymáshoz. Ezt az informális definíciót precízzé téve definiálható egy jól viselkedő topológia azon gráfok terén, amelyeknek maximális fokszáma legfeljebb  $D$ , valamely fix  $D$  konstansra. Ezt a topológiát gyakran Benjamini–Schramm-topológiának nevezik. (3. ábra) Egy alapvető kérdés ebben a témakörben, hogy melyek a Benjamini–Schramm folytonos gráf paraméterek. Az egyik leghíresebb ilyen folytonossági tétel Lyons tétele, ami azt mondja ki, hogy  $|V(G)|^{-1} \log \tau(G)$  egy folytonos gráf paraméter, ahol  $\tau(G)$  a  $G$  gráf feszítőfáinak számát jelöli. Ez a gráf paraméter másképpen úgy is kifejezhető, mint az uniform véletlen feszítőfa normalizált Shannon-entrópiája. Ha adott egy ortogonális projekció mátrix, akkor ennek segítségével egy most nem részletezett módon lehet definiálni egy véletlen bázisát a mátrix oszlopainak. Az így konstruált véletlen bázist diszkrét determinantal folyamatnak nevezzük. Az uniform mérték egy véges gráf feszítőfáin az egyik legfontosabb példa diszkrét determinantal folyamatokra. A Benjamini–Schramm-topológia mintájára definiálhatunk egy topológiát az olyan  $(G, P)$  párokon, ahol  $G$  egy véges gráf,  $P$  egy ortogonális projekció mátrix, ahol az oszlopok és sorok a  $G$  csúcsival vannak indexelve. Lyons tételét általánosítva Mészáros bebizonyította, hogy a  $(G, P)$  párhoz tartozó determinantal folyamat normalizált Shannon-entrópiája folytonos ebben a topológiában egy bizonyos technikai feszességi feltétel mellett.



3. Benjamini–Schramm-konvergencia

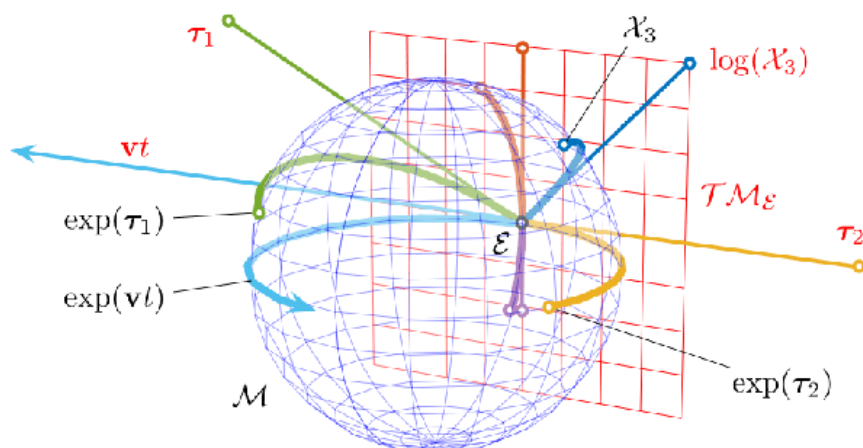
Digitalizáció

Kutatási egység: Algebra osztály

Publikáció: Domokos M, Drensky V: Cocharacters for the weak polynomial identities of the Lie algebra of  $3 \times 3$  skew-symmetric matrices, ADVANCES IN MATHEMATICS 374: Paper: 107343 (2020) <http://real.mtak.hu/112597/>

A dolgozatban Domokos Mátyás a Bolgár Tudományos Akadémia Matematikai és Informatikai Intézetének igazgatójával, Vesselin Drenskyvel együttműködésben kiszámította a háromszor hármas ferdén szimmetrikus mátrixok polinominvariánsainak kokarakter sorát. Általános elvek alapján elegendő a multilineáris azonosságokkal foglalkozni. Ezek terén természetes módon hat a szimmetrikus csoport. A kokarakter sor a szimmetrikus csoport ezen reprezentációjának az izomorfia típusát kódolja. Bizonyos értelemben ez egy finomabb formában tárolja azt az információt, hogy adott fokszámában mennyi azonosság van.

Mátrixok és velük végzett műveletek a matematika majdnem minden ágában felbukkannak, ezért érdekes ezek tulajdonságainak, azonosságainak a vizsgálata. A háromszor hármas ferdén szimmetrikus mátrixokból álló Lie-algebra egy speciális, de alapvető fontosságú matematikai objektum. Ez a rá vonatkozó explicit kvantitatív eredmény illeszkedik egy általánosabb problémakörbe, még hozzá Lie-algebrák reprezentációi által kielégített polinomazonosságok tanulmányozásába. Lie-csoportok reprezentációi központi szerepet játszanak a matematika egészében és egyes elméleti fizikai alkalmazásokban, lévén, hogy általuk ragadhatók meg különféle struktúrák szimmetriái. Vizsgálatuk visszavezethető egy könnyebben kezelhető objektum, a Lie-algebrájuk reprezentációinak elemzésére. (4. ábra) A Lie-algebrák szerkezeti építőkövei az úgynevezett egyszerű Lie-algebrák. A tárgyalt eredmény más megfogalmazásban a legkisebb egyszerű Lie-algebra három dimenziós irreducibilis reprezentációja által teljesített polinomazonosságok kokarakter sorának a meghatározása. Az egyszerű Lie-algebrák irreducibilis reprezentációi közül korábban kizárólag ugyanezen Lie-algebrának a kettő dimenziós irreducibilis reprezentációja esetén volt ismert a megfelelő kokarakter sor, egy 1984-ben megjelent cikknek köszönhetően. Ez a tény azt jelzi, hogy csak erősen limitált, alacsony dimenziós esetekben van remény ennyire explicit és pontos eredmény elérésére.



4. Lie-csoport és Lie-algebra

Jelen esetben a megoldás kulcsa egy, a klasszikus invariánselméletben minden részletében megértett gyűrűvel, az ortogonális csoport vektor invariánsainak algebrájával való, az előre láthatónál is szorosabbnak bizonyuló kapcsolat volt. Egy, a kétdimenziós irreducibilis reprezentációról szóló megfelelő számolásban használt módszer továbbfejlesztése lehetőséget adott a kokarakter sorban szereplő multiplicítások felső becslésére. Mint utóbb kiderült, a keresett multiplicitás valójában majdnem minden összeadandóra eléri az így kapott korlátot. Ezt a szerzők az általános lineáris csoport polinomiális reprezentációinak elméletét alkalmazva úgy tudták igazolni, hogy a megfelelő

tenzoralképpben explicit legmagasabb súlyú vektort konstruáltak minden elvart direkt összeadandóhoz. Ezáltal lényegében normálformát adtak a ferdén szimmetrikus háromszor hármas generikus mátrixok algebrájának elemeire, vagy más megfogalmazásban, bázist adtak a háromszor hármas ferdén szimmetrikus mátrixok terén értelmezett algebrai kifejezések terében. Az említett generikus mátrixalképp természetes módon modulust alkot egy hatváltozós kommutatív polinomalgebra felett. A cikk ennek a modulushoz a szerkezetét is feltárja.

A dolgozat jelentősége, hogy alapvető matematikai objektumok algebrai invariánsainak kvantitatív leírásához járul hozzá egy új példa kiszámításával olyan területen, ahol nagyon kevés hasonló eredmény ismert, és vélhetően kevés hasonló elérésére van esély. Ugyanakkor erre a számításra támaszkodhat esetleges későbbi számítás ugyanúgy, mint ahogy a jelen munka is felhasználta klasszikus invariánselméleti formulákat.

## II. Tudományszervezési eredmények, események

### *Általános ismertető a kutatóhely tudományos munkáját illetően*

A Rényi Alfréd Matematikai Kutatóintézet a nemzetközi matematikai élet jelentős központja, alapvető feladata, hogy az elméleti matematika területén világszínvonalú kutatásokat folytasson. Az Intézet kutatási tematikáit folyamatosan a matematika fejlődése által felvetett legújabb kérdésekhez igazítják, tudományos feladatai elsősorban az alapkutatásra koncentrálnak, de néhány alkalmazott matematikai témára is jelentős erőket fordítanak. Ezek a témák elsősorban a mesterséges intelligencia, a nagy hálózatok kutatása, valamint a pénzügyi matematika, de a matematikai statisztikát is számos társtudományban (például a csillagászatban és a környezettudományban) használták. A munka 8 tudományos osztály, 5 Lendület-, illetve 2 ERC által támogatott kutatócsoport, valamint a szakmódszertani kutatócsoport keretei között folyt. Az Intézet által vezetett konzorcium 2020-ban az NKFIH támogatásával folytatta a mesterséges intelligencia matematikai alapjaival kapcsolatos kutatásait. A beszámolási időszak során az Intézet kutatói 174 tudományos közleményt publikáltak. Legkiemelkedőbb eredményeik a legjelentősebb nemzetközi matematikai folyóiratokban (Inventiones Mathematicae, Advances in Mathematics, Journal of the European Mathematical Society, Annals of Probability, Journal für die reine und angewandte Mathematik stb.) láttak napvilágot.

### *A tudomány és a társadalom, társadalmi hasznosság*

Az Intézet alapkutatási témáinak többsége sajnos nem alkalmas a társadalommal folytatott párbeszéd közvetlen tárgyának. Ugyanakkor a kutatók sikerei a médiában is megjelenítették az Intézetben folytatott kutatásoknak a jelentőségét. Ennek kiemelkedő terepe az Intézet és a Bolyai Társulat által közösen szerkesztett online folyóirat, az Érintő. Ezen fórumon tudnak nemcsak matematikai eredményekről közérthetően mesélni, de a középiskolai és egyetemi matematika-tanítás kérdéseinek vizsgálatával el tudják érni mind az ott tanító pedagógusokat, mind a diákokat.

Az Intézet munkatársai fontos szerepet vállalnak a matematika népszerűsítésében, ismeretterjesztő előadásokat tartanak középiskolások és egyetemisták számára. Rendszeresen sor kerül a Magyar Tudomány Ünnepe keretében az intézeti bemutatkozó rendezvényre, ahol elsősorban középiskolások és tanáraik tájékozódhatnak a matematikusi pálya kihívásairól és szépségeiről. Áprilisban (természetesen online formában) megrendezésre került a Lányok Napja, melynek keretében mintegy negyven érdeklődő középiskolás diáklány látogatott virtuálisan az Intézetbe, és nyert bepillantást az itt folyó munkába, illetve egy-egy matematikai gondolatba.

Az Intézet munkatársai kiveszik részüket a matematikai tehetségek gondozásából, 2020 során is (a járvány adta keretek között) számos matematikai tábort, versenyt és más rendezvényt szerveztek a tárgy iránt érdeklődő diákoknak. Az Intézet szakmai háttérrel biztosít a középiskolák speciális matematikai tagozatai tanárainak is.

#### *A kutatóhely jeles eseményei (díjak, konferenciák)*

Az Intézet kutatóinak kiváló munkáját 2020-ban is számos hazai és külföldi elismerés illette. Ezek közül is kiemelkedik Szemerédi Endre Magyar Szent István-rend kitüntetése, Pálffy Péter Pál Széchenyi-díja, Lovász László Hazám-díja, Tuza Zsolt Magyar Érdemrend tisztikeresztje kitüntetése, Tardos Gábor Gödel-díja. Nemes Gergő magyar tudomány kategóriában elnyerte a Junior Prima Díjat, Juhász Péter Eriksson-díjat, Maga Péter Akadémiai Ifjúsági Díjat, Gerbner Dániel Turán-díjat, Zábrádi Gergely Bolyai-plakettet kapott, Lovász Lászlót a prágai Károly Egyetem díszdoktorává avatták. 2020-ban Pach János az Európai Kutatási Tanács (ERC) Advanced kategóriájában nyert támogatást, az NKFIH Élvtal – Kutatói Kiválósági Programjában Bárány Imre, Pach János és Szegedy Balázs pályázott sikeresen.

A 2020-as év eseményeit nagyban határozta meg a márciusban nálunk is erőre kapó koronavírus-járvány. Az alapvetően utazásokra alapuló konferenciák így megszokott formájukban lehetetlenné váltak. Számos konferenciát és workshopot a kialakult járványhelyzetre, a rendkívüli jogrendre tekintettel el kellett halasztani vagy le kellett mondani. Szerencsére néhány konferenciát online (az Intézet által a járvány kezdeti szakaszában vásárolt zoom előfizetések alkalmazásával) meg lehetett rendezni: Online Conference in Automorphic Forms (június 1-5.), Harmonic and Spectral Analysis 2020 Online Conference (június 8-10.), Machine Learning & Combinatorics Workshop (október 10-11.). Az intézeti szemináriumok is hamar, 1-2 hét kiesése után online újraindultak. Az Intézet egészét megcélzó Összintézeti Kollokvium pedig a járványterjedés matematikai aspektusait bemutató előadásokat tudott az érdeklődőknek bemutatni.

#### *A kutatóhely kiemelt beruházásai*

Az Intézetben a kutatói és vendégkutatói létszám megnövekedett internet-használati igényét a meglévő hálózati rendszer már nem tudta kiszolgálni. Ezért a koronavírus-helyzet okozta bejárési korlátozásokat is kihasználva 2020 tavaszán megvalósították az Intézet már régóta tervezett falakon belüli gyengeáramú rendszerének/internethálózatának bővítését. Ez a Reáltanoda u. 13-15. épületnek I. és II. emeleti kutatói szobáit is érintette. Továbbá felújították az I. emeleti 100 fős nagy előadótermet, illetve a két kisebb előadót is alkalmassá tették a járványhelyzet kihívásainak megfelelő online előadások tartására, közvetítésére.

#### *A kutatóhely közcélú feladatainak rövid bemutatása*

Az Intézet dolgozói több közcélú feladatot is ellátnak. Működtetik az ország legnagyobb matematikai szakkönyvtárát és gondozzák, illetve fejlesztik mind a folyóirat-, mind a könyvállományt.

Az Érintő című online újság kiadásával (melyet az Intézet a Bolyai Társulattal karöltve szerkeszt) tájékoztatják a társadalom eziránt érdeklődő rétegét a matematika és annak tanítása terén elért legújabb eredményekről és további, a matematika iránt érdeklődők számára fontos hírekről (pl. versenyeredmények).

Az Intézet fontos feladatának tekinti, hogy az egyetemi oktatásban tevékenykedő kollégáknak időszakosan lehetőséget nyújtson arra, hogy kutatásaikban jobban elmélyedjenek, a legújabb eredményeket megismerjék és feldolgozzák. Ezért a Rényi Intézet minden évben 4-6 vendégkutatót

fogad az ország matematika tanszékeiről, akik az itt töltött fél vagy egy év alatt jelentős előrelépésekre kapnak lehetőséget.

*A kutatóhely legfontosabb hazai és nemzetközi eredményes K+F+I együttműködései az elmúlt két évben*

a) Vállalati kapcsolatok, az állami költségvetési, a non-profit és a kormányzati szektorral való kapcsolatok

A Rényi Intézet fő profilja a matematikai alap kutatások folytatása, mely területen általában csak más kutatóhelyekkel, kutató egyetemekkel áll kapcsolatban. Leginkább a számítástechnika és a mesterséges intelligencia területén kerültek kapcsolatba olyan vállalkozásokkal, melyekkel az Intézet alap kutatási eredményeire is alapozva adtak be közös kutatás-fejlesztési pályázatokat. Ezek közül említésre méltó az ALTEO NyRt-vel közös projekt, mely az energetikai piacra dolgoz ki mesterséges intelligencián alapuló kereskedő algoritmusokat.

A COVID-19-cel kapcsolatos kutatások során együttműködtek több KKV-val és a Semmelweis és Szegedi Tudományegyetemekkel mesterséges intelligencián, ill. egyéb matematikai algoritmusokon alapuló PCR tesztelési protokollok kidolgozásában, ill. az Intézet keretei között Lovász László vezetésével működő, a járvány terjedését hálózatelméleti módszerekkel modellező csoport kapcsolatban állt az ITM járványterjedéssel foglalkozó csoportjával.

A Rényi Intézetben folyó tantárgypedagógiai, a matematika tanításával foglalkozó csoport, ill. egyéni kutatók együttműködtek több hazai, ill. külföldi egyesülettel és más non-profit (matematikai oktatási) szervezetekkel a matematika tanítási módszereinek kutatási területein.

A Rényi Intézet a Fulbright-Rényi-BSM megállapodás keretében évente tipikusan egy kutató és egy vagy két diák (BSc-t szerzett, posztgraduális tanulmányai előtt álló) ösztöndíjast fogad. A háromoldalú megállapodás szerint az ösztöndíjasok anyagi támogatását (ösztöndíj, ill. tandíjkedvezmény formájában) a másik két szerződő fél (Fulbright és BSM-Budapest Semesters in Mathematics az amerikai ernyőszerkezete, a Pro Mathematica Arte alapítvány útján) nyújtja, a Rényi Intézet a kutatási lehetőséget, kapcsolatokat, ill. a diák ösztöndíjas esetében témavezetést biztosít. A 2018/19 és a 2019/2020 akadémiai években 1-1 kutató és diák ösztöndíjast fogadtak, míg a 2020/21 akadémiai évre támogatást nyert két diák ösztöndíjas közül a kialakult járványhelyzet miatt az egyik lemondta az ösztöndíját, másikuk pedig 2020 legvégén érkezett meg, és várhatóan egészen 2022 tavaszáig marad.

b) Felsőoktatással való együttműködések

Az Intézet számára nagy jelentőségű a tudományos utánpótlással való közvetlen kapcsolat. Ennek jegyében az Intézet kutatói több budapesti és vidéki felsőoktatási intézmény (Állatorvostudományi Egyetem, BGE, BME, ELTE, NKE, Pannon Egyetem, Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Szegedi Tudományegyetem, Tomori Pál Főiskola) munkájában vesznek részt. 2019 folyamán az Intézet 68 munkatársa (a teljes kutatói létszám 52%-a), 2020-ban 79 munkatársa (a teljes kutatói létszám 58%-a) oktatott valamelyik hazai felsőoktatási intézményben. Különösen jelentős a szerepük a doktorképzésben és a mesterszakos képzésben. Az Intézet kutatói közül 12-en törzstagok különböző doktori iskolákban, 2019-ben 57, 2020-ban 58 doktorandusz munkáját irányították témavezetőként. Kiemelt jelentőségű volt az Intézet számára a Közép-Európai Egyetem (CEU) Matematikai Tanszékével folytatott együttműködés. A CEU matematikai doktori és mesterképzési programjának oktatói és témavezetői zömében az Intézet kutatói közül kerültek ki. A tanszék vezetője és a doktori program irányítója is az Intézet munkatársa volt. A Budapest Semesters in Mathematics angol nyelvű

egyetemi részképzési program oktatóinak java része is az Intézet kutatója. Ez a program az amerikai egyetemekre viszi el a magyar matematika hírért, és mintául szolgál más nemzetközi oktatási programoknak is.

Az akadémiai megújítási program részeként újból lehetőség nyílt arra, hogy egyetemi kollégák egy vagy két szemesztert oktatási feladataiktól mentesülve az Intézetben tölthessenek vendégkutatóként. E program keretében az elmúlt két évben a BME-ről egy, az ELTE-ről hét, a Pannon Egyetemről egy, a Szegedi Tudományegyetemről pedig három oktató vett részt a Rényi Intézetben folyó kutatómunkában.

#### c) Egyéb együttműködések, kapcsolatok

Az Intézetben heti rendszerességgel folyó szakmai szemináriumok munkájába igen nagy számban kapcsolódnak be más intézmények, köztük vidéki egyetemek munkatársai is, ezáltal ezek a szemináriumok az egész hazai matematikai életre jelentős hatást gyakorolnak.

A Rényi Intézet kutatói a matematikai közélet feladataiból hagyományosan számarányukon felül veszik ki részüket. Ezek között említhető az MTA Matematikai Tudományok Osztályában és az akadémiai bizottságokban, az NKFIH testületeiben, a Bolyai János Matematikai Társulatban végzett munka. Az MTA Bioinformatikai Osztályközi Állandó Bizottság egyik alelnöke, a Bolyai János Matematikai Társulat elnöke, főtítkárhelyettese, tudományos szakosztályának elnöke és alkalmazott matematikai szakosztályának egyik alelnöke mind a Rényi Intézet kutatói.

Az Intézet kutatói igen széleskörű nemzetközi kapcsolatokkal rendelkeznek. A társszerzős munkák zömében a szerzők között az intézeti kutató(k) mellett külföldi matematikusok találhatók. Közös projektek és közösen szervezett konferenciák is jellemzőek. Az Intézet munkatársai közül 2019-ben 35-en, 2020-ban 21-en vettek részt nemzetközi konferencia szervezésében, néhányan közülük több alkalommal is. 2019 nyarán négy nemzetközi konferenciát szervezett az Intézet, emellett egy workshopra is sor került. A 2020-ra tervezett rendezvények nagy részét a járványhelyzetre tekintettel le kellett mondani vagy el kellett halasztani, két konferenciát és egy workshopot azonban online sikerült megrendezni.

Az Intézet kutatói 2019-ben 13, 2020-ban 12 nemzetközi tudományos bizottságban vettek részt. 2019-ben 199, 2020-ban 191 alkalommal szerepel intézeti kutató neve nemzetközi folyóirat szerkesztő bizottságának névsorában. A munkatársak az elmúlt két évben 457 előadást tartottak nemzetközi rendezvényeken, ezek közül sokat meghívott, illetve plenáris előadóként.

A 2019/2020-as időszakban az Intézetből 8 kutató volt távol fél évnél hosszabb ideig a következő külföldi intézményekben: City University of New York (USA), Lancaster University (Anglia), Technische Universität Graz (Ausztria), University of Chicago (USA), Universität Hamburg (Németország), Università di Pisa (Olaszország), University of Toronto (Kanada).

Az intézeti kutatók által elnyert ERC támogatások és a Lendület-projektek keretéből, illetve más forrásokból az elmúlt két évben 28 külföldi kutató dolgozott az Intézetben.



## *A kutatóhely innovációs és pályázati tevékenysége az elmúlt két évben*

### a) Elnyert pályázatok az elmúlt két évben

Az Intézet a korábbi évekhez hasonlóan jól szerepelt a hazai NKFIH kutatási témapályázatokon. 2019-ben 4 kutatási pályázat nyert el támogatást, illetve egy fiatal kolléga NKFIH FK és egy további kutató NKFIH PD egyéni posztdoktori pályázat keretében kezdhette meg kutatásait az Intézetben. 2020-ban egy újabb kutatási pályázat, 3 NKFIH FK és egy NKFIH PD pályázat nyert támogatást, illetve egy SSN (szlovén-magyar kutatási együttműködési) pályázat, melyet a University of Ljubljana és a University of Primorska kutatóival közösen adtak be. 2020-ban indult továbbá egy ELKH/MTA finanszírozású új Lendület-projekt is.

A 2018-ban a Rényi Intézet vezetésével kialakított konzorcium által beadott és elnyert NKFIH Nemzeti Kiválósági Program „A mesterséges intelligencia matematikai alapjai” eredményeire alapozva 2018-19 folyamán az ITM az Intézetet kérte fel egy új, országos, a mesterséges intelligencia matematikai alapjainak és alkalmazásainak kutatására létrejövő, szélesebb konzorciumon alapuló kutatási projekt megtervezésére. 2019 második felében az akkor kialakuló Nemzeti Laboratóriumok keretei közé került áthelyezésre a tervezés, és a SZTAKI átvette a konzorcium vezetését a Rényi Intézettől. A Rényi Intézet maradt az alapkutatási alprojekt vezetője, és a SZTAKI-val együtt fejezték be a Mesterséges Intelligencia Nemzeti Laboratórium kialakítását, majd 2020 második félévétől a működtetését. A projekt célja egy olyan tudásközpont létrehozása, amely elősegíti, hogy az ország a mesterséges intelligencia kutatása és alkalmazásai terén a világ élvonalába kerülhessen. Ehhez elengedhetetlen a mesterséges intelligencia-kutatások magyarországi felfuttatásához szükséges kritikus kutatói erőforrás koncentrálása, strukturálása és megerősítése. A négy ELKH kutatóintézet/központ, öt felsőoktatási intézmény és a Nemzetbiztonsági Szakszolgálat együttműködésével egy olyan új kutatási eredményeket létrehozó szellemi műhely létesül, amelynek keretében folytonosság teremthető a mesterséges intelligencia legelméletibb és leggyakorlatibb irányai között. A különböző jellegű feladatokon dolgozó kutatók nem izoláltan, hanem szorosan együttműködve dolgoznak, biztosítva a folytonos információáramlást az elméleti és gyakorlati irányok között. A gondos előkészítés eredményeként a Mesterséges Intelligencia Nemzeti Laboratórium nagy mérete ellenére a legjobban szervezett és teljesítő nemzeti laboratóriumként kezdte meg működését.

2019 folyamán két ERC Advanced grant, két ERC Starting grant és öt MSC-IF grant pályázat került benyújtásra, melyek közül egy Advanced grant és három MSC-IF grant nyert támogatást (a GeoScape Advanced grant projekt elkezdődött 2020-ban, míg a 3 MSC grant 2021-ben kezdődik majd el). Mindkét ERC Starting grant pályázat „A” minősítést kapott, bejutott a második fordulóba, de elegendő pénzügyi forrás hiányában nem kapott támogatást. 2020-ban egy ERC Advanced grant pályázat került benyújtásra, ami bejutott a második fordulóba, de a végső eredmény a beszámoló írásakor még nem ismert.

2019-ben indult a ERC eddig egyetlen matematikai témájú Synergy grantja, a „Dynamics and Structure of Networks – DYNASNET” projekt a Rényi Intézet - Charles University (Prága) - Central European University (Bécs-Budapest) alkotta konzorcium közös kutatása. A konzorcium vezető intézménye a Rényi Intézet, vezető kutatója (Principal Investigator) Lovász László, a másik két konzorciumi tag vezető kutatói Jaroslav Nesetril és Barabási László.

### b) Kutatáshasznosítási tevékenységek

A Rényi Intézetnek az elmúlt két évben nem volt bejelentett vagy megadott oltalma.

*2020-ban megjelent jelentősebb publikációk*

1. Hutchcroft T, Pete G: Kazhdan groups have cost 1, INVENTIONES MATHEMATICAE 221:3 873-891. (2020)  
<http://real.mtak.hu/122154/>
2. Pach J, Tomon I: On the chromatic number of disjointness graphs of curves, JOURNAL OF COMBINATORIAL THEORY SERIES B 144: 167-190. (2020)  
<http://real.mtak.hu/122157/>
3. Nemes G, Daalhuis AB: Large-parameter asymptotic expansions for the Legendre and allied functions, SIAM JOURNAL ON MATHEMATICAL ANALYSIS 52:1 437-470. (2020)  
<http://real.mtak.hu/122158/>
4. Nagy J, Némethi A: The Abel map for surface singularities II. Generic analytic structure, ADVANCES IN MATHEMATICS 371: Paper: 107268 (2020)  
<http://real.mtak.hu/122159/>
5. Mészáros A: The distribution of sandpile groups of random regular graphs, TRANSACTIONS OF THE AMERICAN MATHEMATICAL SOCIETY 373: 6529-6594. (2020)  
<http://real.mtak.hu/112305/>
6. Mészáros A: Limiting entropy of determinantal processes, ANNALS OF PROBABILITY 48:5 2615-2643. (2020)  
<http://real.mtak.hu/112304/>
7. Böröczky KJ, Lutwak E, Yang D, Zhang G, Zhao Y: The Gauss image problem, COMMUNICATIONS ON PURE AND APPLIED MATHEMATICS 73:7 1406-1452. (2020)  
<http://real.mtak.hu/114316/>
8. Holmsen AF, Nassajian MH, Pach J, Tardos G: Two extensions of the Erdős-Szekeres problem, JOURNAL OF THE EUROPEAN MATHEMATICAL SOCIETY 22:12 3981-3995. (2020)  
<http://real.mtak.hu/112454/>
9. Gehér GP, Titkos T, Virosztek D: Isometric study of Wasserstein spaces - the real line, TRANSACTIONS OF THE AMERICAN MATHEMATICAL SOCIETY 373: 5855-5883. (2020)  
<http://real.mtak.hu/112312/>
10. Kiss G, Malikiosis RD, Somlai G, Vizer M: On the discrete Fuglede and Pompeiu problems, ANALYSIS & PDE 13:3 765-788. (2020)  
<http://real.mtak.hu/92457/>
11. Harcos G, Soltész D: New bounds on even cycle creating Hamiltonian paths using expander graphs, COMBINATORICA 40: 435-454. (2020)  
<http://real.mtak.hu/122160/>
12. Domokos M, Drensky V: Cocharacters for the weak polynomial identities of the Lie algebra of  $3 \times 3$  skew-symmetric matrices, ADVANCES IN MATHEMATICS 374: Paper: 107343 (2020)  
<http://real.mtak.hu/112597/>

13. Lutsko C, Tóth B: Invariance Principle for the Random Lorentz Gas – Beyond the Boltzmann-Grad Limit, COMMUNICATIONS IN MATHEMATICAL PHYSICS 379: 589-632. (2020)  
<http://real.mtak.hu/112591/>
14. Alfieri A, Kang S, Stipsicz AI: Connected Floer homology of covering involutions, MATHEMATISCHE ANNALEN 377:3-4 1427-1452. (2020)  
<http://real.mtak.hu/112241/>
15. Abért M, Tóth LM: Uniform rank gradient, cost, and local-global convergence, TRANSACTIONS OF THE AMERICAN MATHEMATICAL SOCIETY 373:4 2311-2329. (2020)  
<http://real.mtak.hu/122162/>