

## „Ahogy a csillag megy az égen” – egy infravörös fényírda élete

*Ne légy szeles.*

*Bár a munkádon más keres –  
dolgozni csak pontosan, szépen,  
ahogy a csillag megy az égen,  
ugy érdemes.*

**József Attila**

(1905-1937)

**Kulcsszavak:** infravörös spektroszkópia, sokváltozós adatelemzés, képkalkotás

### 1. ÖSSZEFOGLALÁS

Ma már a felhasználók céljainak megfelelően számos lehetőség közül választhatnak, ha a rezgési spektroszkópia eszköztárához fordulnak kérdéseik megválaszolása során. Ez a sokféleség megmutatkozik a készülékek felépítésében, mintakezelésében, mérés technikájában. Elég, ha a bejövő nyersanyag raktárakban helyszíni méréseket lehetővé tevő, kézben hordozható (ún. handheld), vagy a minőséget ellenőrző laborok asztali (ún. bench-top), vagy a gyártási technológiák in-/on-line műszereire gondolunk. Emellett a kémiai képkalkotó (chemical imaging, CI) technikák is teret nyertek. A hardverek szolgáltatott infravörös spektrumok seregébe olyan matematikai, statisztikai, kemometriai módszerek lehelnek életet, amelyek a nagy adathalmazokban (big data) rejlő információk kinyerésére képesek. A cikkben az elmúlt 25 év egy-egy példáját felvillantva nyomon követhető az infravörös technikák fejlődése, beágyazottsága az akadémiai kutatásoktól a mezőgazdasági, ipari alkalmazásokig – de nem csak a gépeken, hanem az embereken is keresztül.

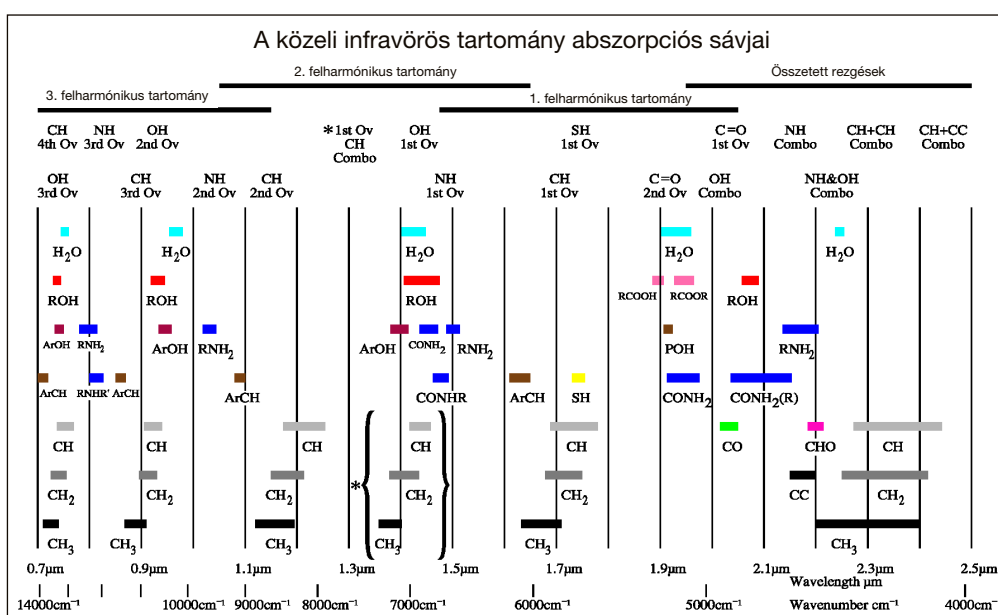
<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék, NIR Spektroszkópia Csoport

## 2. Bevezetés

Fiatal felnőttként a győri „fényírok fesztiválja” [1] sok-sok jó emléket hagyott bennem. A közeg fényekből, hangokból – azaz hullámokból – állt, keltett érzetet, és nyitott ablakot egy-egy addig új, ismeretlen világra, jobban megértve azt. Kis kutatócsoportunkban mi is efelé törekszünk: az elektromágneses sugárzás infravörös tartományának segítségével – mint Sir William Herschel [2, 3] óta annyian [4, 5] – igyekszünk megérteni a vizsgált anyag kémiai (és sokszor fizikai [6, 7, 8]) történetét a hullámok és a vizsgált matéria kölcsönhatásán keresztül.

### 2.1. Jellemző NIR elnyelési sávok

A roncsolásmentes, mintaelőkészítést nem, vagy csak kismértékben igénylő molekula- (avagy rezgési) spektroszkópia vöröshöz közelebb eső, úgynevezett közeli infravörös (*near-infrared*, NIR) szeptében majd minden jelet ad, ami egy biológiai rendszer vizsgálatához szükségeltetik (1. ábra). Az éltető víz az O–H csoportjai; a szerkezeti vagy tartalék fehérjék az aminosavak közti peptidkötések C=O és N–H csoportjai, illetve az oldalláncaik; a lipidek a telített (C–C) vagy telítetlen (C=C) szénkötéseik, illetve nagyszámú metil (–CH<sub>3</sub>) és metilén (–CH<sub>2</sub>–) csoportjaik C–H rezgésein keresztül „jelnek”, elnyelve a rájuk jellemző hullámhosszú fotonokat, így kerülve magasabb energiaszintre. A szénhidrátok, mint polihidroxi-oxovegyületek kicsit öszvérek: az előzőekben felsorolt csoportok rezgése (O–H, C=O, C–H) együttesen szólnak meg.



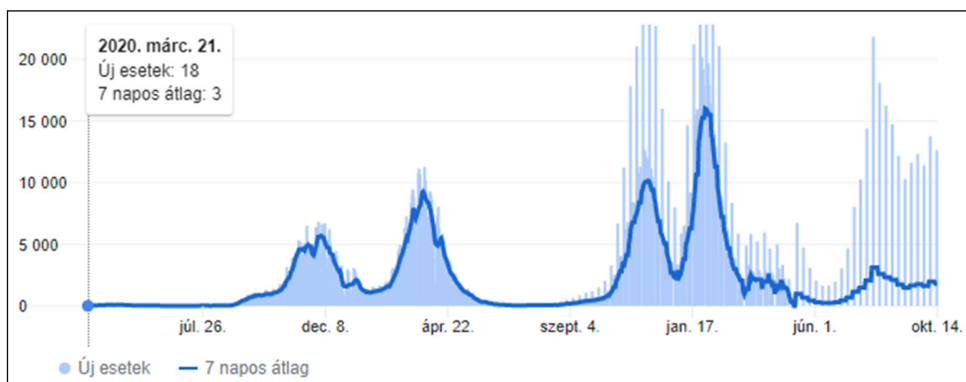
1. ábra. Csoportok elnyelése a közeli infravörös tartományban [6]

### 2.2. Sokváltozós adatelemzés a NIR technikában

És ezzel el is jutottunk interdiszciplinális tudományunk területei közül a (N)IR spektroszkópia után a sokváltozós adatelemzéshez (*multivariate (data) analysis*, MV(DA), a kemometria, a statisztika (azaz közös nevezőként a matematika) varázslatos világához – amit jó papként folyamatosan tanulunk Kemény Sándor és Héberger Károly tanár uraktól, még mindig ámulva tudásukon, tapasztalataikon, pedagógiai érzékükön (*a BME tanárai. A Szerk.*) [9, 10]. Ezen tudományok szükségessége területünkön két fő forrásból eredeztethető.

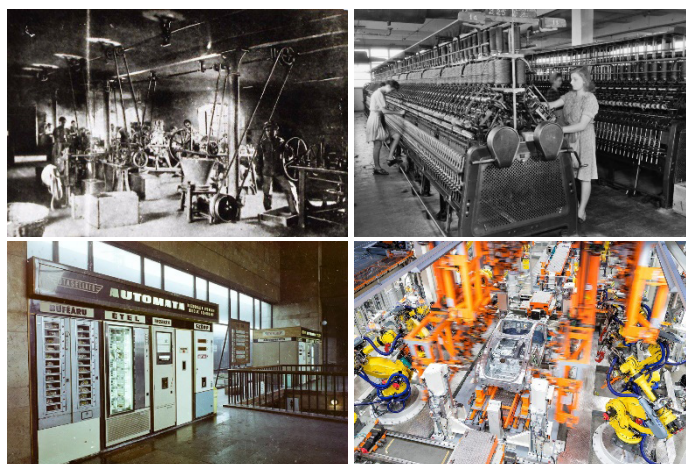
Először is, az előzőekben felsorolt makrokomponensek (a mikrokomponensekkel kiegészülve) adják az egészet, az élő. Tanszékünk profilját tekintve főként ezeket az összetett (növényi, állati, humán) rendszereket „as is” („ahogy van”) vagy feldolgozott formában (termények, élelmiszerek, szövetek) vizsgálva mindig összetett, burkológörbe jellegű spektrumokat kapunk. Ezek elemzése (például a spektrumok csúcsainak azonosítása, avagy asszignációja) elképzelhetetlen mozgó átlagokkal való simítások, deriváltakkal érzékenyített csúcsfelbontások, vagy normálásokkal kiküszöbölt alapvonal-eitolódások nélkül. Egy másik szakterületről példaként említem a SARS-CoV-2 vírus okozta pandémia esetszámainak diagramját, ahol a járvány adatainak változása a mozgóátlagok ábrázolásával jól követhető információt nyújtott az aktuális járványhelyzetről (2. ábra).

Másodsor, a spektrumalapú azonosítás, vagy a minőségi, illetve mennyiségi modellek építése is igénybe veszi a matematikai eszközparkot: esetenként csak egy-egy korrelációs számításra, máskor komolyabb vektoralgebra, vagy mátrixokkal való műveletekre van szükség.

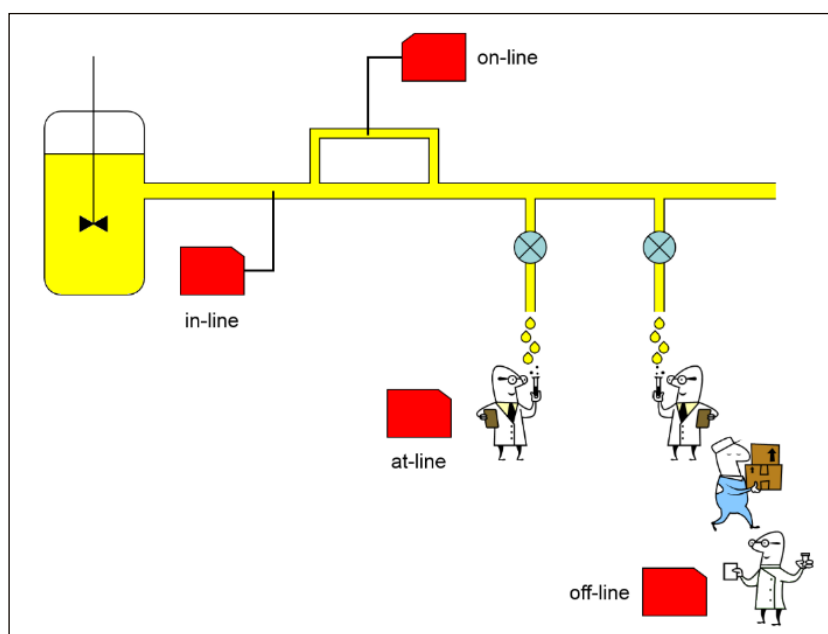


2. ábra. COVID-19 új esetek – a kapott adatok (oszlopok formájában) és az a bizonyos 7 napos mozgó átlag (vastag vonalként) [11, 12]

Talán az előzőekből is kiviláglik: az Ipar 4.0 (**3. ábra**), a körforgásos gazdaság korát élve [13], akár a precíziós mezőgazdaság, akár a tudásalapú technológiákat felhasználó élelmiszeripar, akár a PAT és QbD szemléletben formálódó gyógyszeripar fő eszközeiként a roncsolásmentes spektroszkópiai szenzorok (*non-destructive spectroscopic sensors*, NDSS) kerülnek előtérbe – legyen szó csövekbe építhető száloptikás mérőfejekről (**4. ábra**), vagy futószalagok fölé szerelhető, UV/Vis/NIR tartományokban mérő kamerákról.



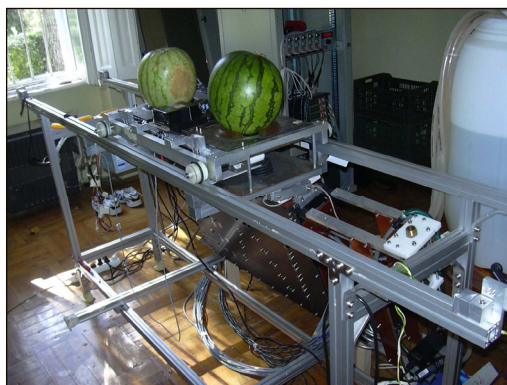
3. ábra. Győr vs. Ipar 1.0: gyufagyár, 2.0: lenszövő, 3.0: étel-ital automata, 4.0: autógyár [14, 15, 16, 17]



4. ábra. A mintavétel és a mérés helyének relációi [18]



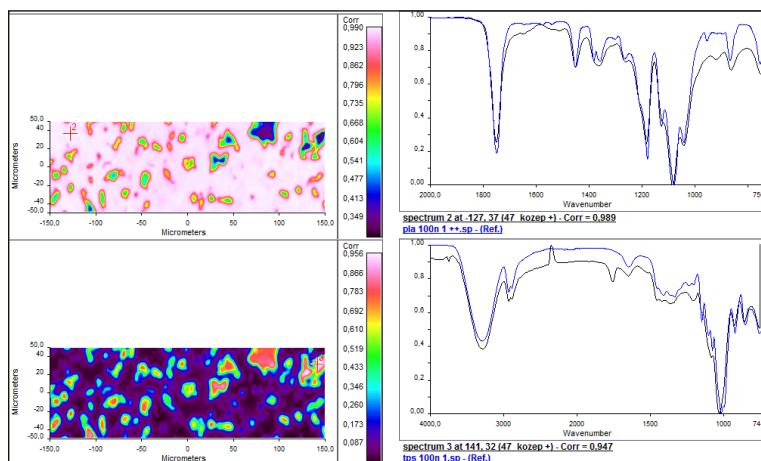
A gyakran felmerülő „Mi van a mintában?” kérdésre a még roncsolásmentes, de már a megfelelő behatolóképeséghez (penetrációhoz) megfelelő energiájú NIR fotonok sokszor segítettek: akár csomagolóanyagokon keresztül történő vizsgálatokhoz, akár kisebb-nagyobb méretű, zöld mintákba (görögdinnyébe, algába) való betekintéshez. Előbbire azért van szükség, mert számos helyen dolgoznak olyan egészségkárosító anyagokkal, melyeket a felhasználásuk előtti azonosításához, minősítéshez a csomagolóanyagból ki kell venni. Emiatt olyan modellrendszereket hoztunk létre, ahol a műanyagok elnyelésének mértéke detektálható, majd változó-szelekcióval és/vagy matematikai kezelésekkel hatásuk csökkenthető. [39] Természetesen kollégáinknak is segítünk, ahol tudunk, szakterületünkön. Maák Pál (BME TTK, Fizikai Intézet, Atomfizika Tanszék) és kollégái olyan prototípust építettek (6. ábra), melyben NIR lézerekkel mérhető a görögdinnye cukortartalma – amely külföldi kutatók alma, kivi és narancs elemzési módszereihez képest a mérés érzékenységét tekintve nagyságrendi ugrás. Itt a cukor abszorpciós csúcsainak kimérésében, a hullámhosszak – közvetve a lézerek kiválasztásában – nyújtottunk támogatást. [40] Németh Áron (BME VBK ABÉT, Fermentációs Kísérletiüzemi Laboratórium) és munkatársainak pedig algafajok kiválasztásában, a kis léptékű tenyésztések körülményeire adott termékkihozatalokra (azaz fajlagos lipidmennyiségekre, mint biodízelek forrásaira) tudtunk közép- (azaz analitikai) infravörös tartományban megoldást kínálni. [41] Az integrációt nem csak tanszéken és egyetemen belüli kutatócsoportok szintjén, de hazai és nemzetközi egyetemek, kutatóintézetek közt is igyekszünk fenntartani szakmai és pályázati tevékenységeinken keresztül, keresve az általunk használt spektroszkópiai technikák újabb felhasználási lehetőségeit. [42]



6. ábra. Görögdinnye cukortartalmát mérő, NIR technológián alapuló prototípus [43]

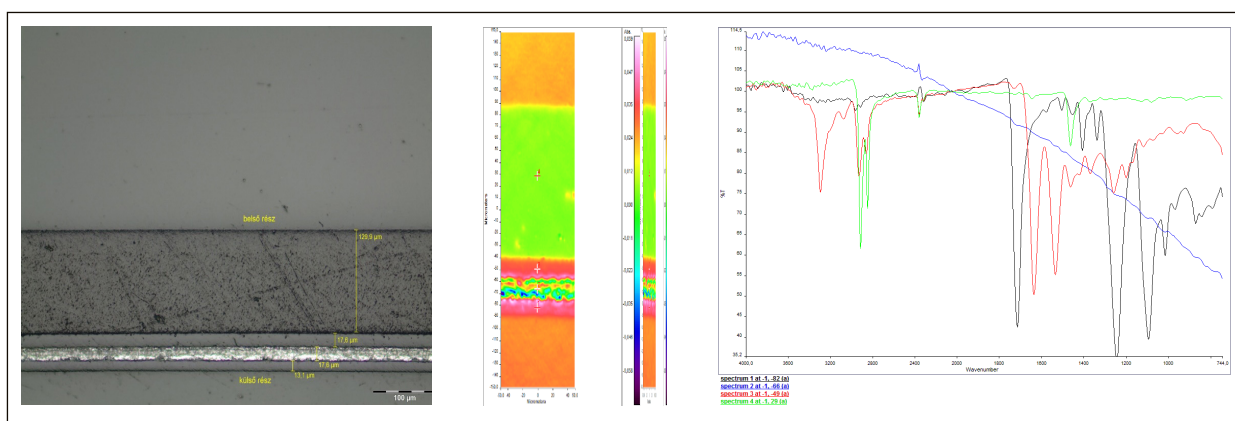
Az integráció nemcsak ember-, de adatszoportok közt is létrejöhet. Ahogy 2005-6-ban bemutattuk, hogyan lehet optikai NIR spektrumokat és reológiai viszkozitás görbéket összefésülni, [44, 45] úgy 15 év múltán is dolgozunk az adategyesítés (*data-fusion*) újabb megoldásain Hanzelik Pál Péterrel – ki a nagyipari háttérrel (MOL Nyrt.) képviseli koordinációjával és aktív részvételével [46] – és Nagy Zsombor Kristóffal – ki a BME-FIEK keretén belüli kapcsolódást lehetővé teszi, és kutatócsoportunkat emellett a Pharmatech Gyógyszertechnológiai Laboratórium munkáiba is bevonja. Hasonlóan több évre visszatekintő, gyümölcsöző együttműködés alakult ki Bredács Mártonnal – ki a Leobeni Egyetemen szorosan együttműködő polimer kiválósági központ (PCCL) oszlopos tagja – a műanyag hulladékok multiszenzoriális – azaz több spektroszkópiai érzékelőt (Vis, NIR, Raman) alkalmazó – szelekciójában, minősítésében. [47]

A tanszéki csoport életében jelentős mérföldkő volt a képalkotó (*imaging*) technika megjelenése. A 2000-es évek elejétől nemzetközi konferenciák előadásai, kiállítói és a területen szaporodó publikációk mutatták, hogy a „kommercializálódás” (azaz a prototípusok, kis szériák után a sorozatgyártás, szélesebb spektrumú kereskedelmi forgalomba kerülés) megkezdődött. Maradva korábbi kutatási irányaink mellett vizsgáltunk növényi magvakat is, [48] de emellett egy klasszikusabb humán vonal is körvonalazódott Kontsek Endre és Pesti Adrián (egykori tanítványaink, ma az SE Patológiai, Igazságügyi és Biztosítási Orvostani Intézet munkatársai) kitartó munkájával. A vese- és epekövek vizsgálata után [49] orvosi javaslatra a lágy szövetek, tumorok, rákos sejtvonalak vizsgálata felé fordultunk, [50, 51] bízva abban, hogy a digitális patológia, vagy – távlati célként – az operációk közbeni, valós idejű daganatazonosítás fejlődéséhez hozzájárulhatunk. Sokat köszönhetünk Kállay-Menyhárd Alfrédnek és kollégáinak (időbeli sorrendben Müller Péternek, Tátraaljai Dórának, Hári Józsefnek, Kirschweg Baláznak) a társ-intézetből (BME VBK FKAT Műanyag és Gumiipari Laboratórium), akiktől kaptunk feladataink a műanyagokkal kapcsolatos mikroszkópos kutatásainkhoz járultak hozzá, legyen szó biológiailag lebontható (azaz biodegradálható) politejsav – termoplasztikus keményítő (PLA-TPS) keverékekről (7. ábra), vagy különböző termékek (ragasztók, fóliák, orvosi eszközök, elektromotor bevonatok) hibaanalitikájáról vagy az úgynevezett fordított mérnökségről (*reverse engineering*).



7. ábra. Politejsav - termoplasztikus keményítő (PLA-TPS) keverék eloszlásvizsgálata IR képalkotás alapú korrelációs térképeken (balra) a referencia anyagok spektrumai (jobbra, kék színnel; fent: PLA, lent: TPS) segítségével [52]

A hibaanalitika területén Gordon Péter és lelkes csapata (BME VIK ETT EFI-labs) megkerülhetetlen tényező: minta-előkészítései, dokumentációik nem csak az előzőekben felsorolt képalkotói feladatainkat, hanem például a rétegelt csomagolóanyagok keresztmetszeti vizsgálatait (8. ábra) is nagymértékben segíti.



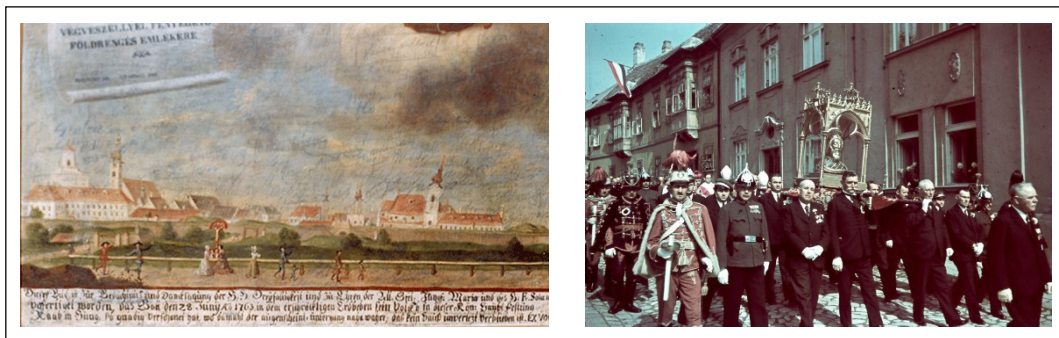
8. ábra. Többrétegű élelmiszer-csomagolóanyag („chips-es zacskó”) keresztmetszeti képe látható (balra) [53] és IR (középen) mikroszkóppal, valamint az egyes rétegekben kijelölt pontok IR spektrumai [54]

Még mindig a műanyagoknál maradva: napjainkban környezetvédelmi vonatkozásuk kapcsán a mikroműanyagok úgy a hétköznapi, mint a tudományos hírek gyakori szereplői. Az élettelen környezet szennyezésén keresztül a táplálékláncba bejutó mikroműanyagok (és az általuk megkötött kémiai anyagok) egészségkárosítók is lehetnek. Bordós Gáborral és kollégáival (Wessling Hungary Kft.) együttműködve metodikát dolgoztunk ki az infravörös tartomány ez irányú alkalmazásaira is, amellyel különböző típusú vizeink monitorozhatók. [55, 56]

Ahogy az előző példában is, mindig visszajutunk az emberhez. És ha a betegség bekövetkezett, a nyugati orvoslásban jön a gyógyszerek alkalmazása. A tablettát – és mint minden hasznos dolgot –, a gyógyszereket is hamisítják. Horgos Józseffel (Wessling Hungary Kft.) kezdtük el ezt a területet feltérképezni, [57, 58] később a hatósági részről Lohner Szilviától (OGYÉI) kaptunk vizsgálati anyagok formájában támogatást. De nem csak a hamisítást, hanem a technológiai eredetű meg(nem)felelőséget, illetve a formulálás fejlesztéseihez kialakított modellrendszereket is vizsgálhatjuk az összetevők megléte, eloszlása tekintetében. Cél egy olyan gépi látás, ami az UV és a Vis mellett a NIR tartományban is minősít, modellek alapján hatóanyag-kioldódást becsül. [59, 60]

A becslés tekintetében az egyik legszebb kihívás a földrengések előrejelzése. Ha visszaemlékezünk az 1763. június 28-i, Komáromot, Győrt, Zsámbékot megrengető, 6,3 magnitúdójú, 63 fő életét követelő földrengésre, aminek hatására elrendelték Szent László hermájának Győr városában körbe vitelét a további földrengések elkerülése végett (9. ábra), akkor a kontextus világosabb. [61] Hálásan tekintek Kovács István János és kollégáival való együttműködésre, kik az ELKH Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézetének, illetve az ELTE TTK Litoszféra Fluidum Kutató Laboratóriumának tagjai.

Szilárd anyagokat és folyadékokat keverék, oldat vagy épp kolloid formában, gyakran élővé szerveződve, komplex biológia rendszerek képében – ahogy az eddigi példákban ez idáig is olvasható volt – sokszor és sokat mérünk, de a gázok („mozgékony illók”) eddig kimaradtak. Most sem miénk a mérés érdeme: geológus kollégák alkották meg az ún. litoszféra-fizika egységet (Közép-Európa első integrált geodinamikai állomását), [62] mellyel mért IR spektrumok (és egyéb adatok) idősoros elemzése rendkívül izgalmas. Azonban a megválaszolandó kérdést se feledjük: mi látszik a talaj CO<sub>2</sub>-szintjének változásaiban, amely fluidumként árapály mozgást is mutat – és tán hirtelen felpeszsdül a lemezmozgásoknak köszönhetően. Esetleg előjele lehet az afrikai és európai lemezek egymásnak feszüléséből kipattanó földrengéseknek? A nagy „kirakósjáték” része a kőzetek által csapdázott fluidumok elemzése is, amelyek vizsgálatában mikroszkópos háttérünkkel tudunk segíteni. [63]



9. ábra. A földrengés emlékére készült győri fogadalmi kép a megdőlt tornyokkal (balra) [64] és az 1939. évi Szent László napi körmenet a hermával [65]

A Tanszékünkön folyó munkáról alkotott kép nem lenne teljes, ha nem ejtenék néhány szót a lineáris és nem-lineáris összefüggések kutatásáról. Ami az életben: az érzékszerveinkkel (mint perifériákkal) ellátott idegrendszerünk tanulás útján nemlineáris megoldásokkal segít túlélni a mindennapok kihívásait. A gépek nyelvén: multiszenzorokkal ellátott mesterséges idegrendszer (*artificial neural network*, ANN) gépi tanulás (*machine learning*, ML) útján nemlineáris megoldásokkal működtet döntési fákat.

Mit szólna mindezekhez Telegdy-Kováts László (Galgóc, 1902. december 5. – † Budapest, 1987. május 11., vegyészmérnök, egyetemi tanár) (10. ábra), kiről így emlékezik meg a CSEMADOK: „A nyitrai gimnáziumban érettségizett 1919-ben. A budapesti Műszaki Egyetem Vegyészmérnöki Karán 1925-ben szerzett mérnöki oklevelet. Sigmond Elek (1873–1939) vegyészmérnök és agrogeológus professzor tanársegéde lett a műegyetemen, ahol kezdetben talajbiológiával foglalkozott. Az 1920-as évek végén hosszabb ideig Angliában dolgozott, ahol megismerkedett a matematikai-statisztika és kísérlettervezés modern módszereivel is. 1935-ben érdeklődése az élelmiszerkémia felé fordult, kutatóként és minisztériumi tisztviselőként is az élelmiszeripari technológia irányítása és fejlesztése lett tevékenységének a fő tárgya. 1950-ben a budapesti Műszaki Egyetem Vegyészmérnöki Karának Élelmiszerkémiai Tanszékére nevezték ki professzornak. Mérnökök nemzedékeit nevelte fel. Az élelmiszerminőség elméleti és gyakorlati kérdéseiről írt dolgozatai mindmáig aktuális gondolatokat fogalmaznak meg. Újszerű élelmiszeranalitikai eljárások kidolgozása is fűződik a nevéhez. Figyelme kiterjedt az élelmiszerek csomagolástechnikájára is. Fontos feladatának tartotta a tudományos ismeretterjesztést, éveken át a Tudományos Ismeretterjesztő Társulat (TIT) elnöke volt” [66]. Reméljük, egyetértően bólintana [67]. A 10. ábrán azt kívánjuk szemléltetni, hogy az optika területén milyen technikai lehetőségekre nyílik lehetőség a mesterséges intelligencia alkalmazása révén [67].



10. ábra. Telegdy-Kováts László portréja fekete-fehéren (balra), [68] illetve gépi tanulás alapján színeztve (jobbra) [69]

#### 4. Zárszó és köszönetnyilvánítás

Kutatócsoportunk felfedező biomérnök természetében ötvöződnek szakirányaink (az alkalmazott biotechnológia, az egészségvédelmi, az élelmiszerminősítő és a környezetvédelmi specializációk) attribútumai, amelyekről e cikk keretein belül egy-egy képet fel tudtunk villantani. Reméljük, hogy jó érzetet keltettünk egy-egy ablakot kinyitva, miközben a film forog tovább...

\* \* \*

Mindenek előtt köszönet illeti Salgó Andrást, a NIR Spektroszkópiai Csoport atyját: ha ő nincs, mi sem vagyunk. Ahogy azok nélkül sem, kik éveken keresztül doktoránsként és/vagy kollégaként léptek be anno a K.II.3. vagy mostanság a Ch 165 aiján, nevesül (tán időrendben) Sárossy Gábor, Juhász Réka, Gelencsér Tímea, Hódsági Mária, Izsó Eszter, Berceli Mónika, Párta László, Szabó Éva, Kozma Bence, Besenyő Gabriella, Slezsák János. Az elmúlt 25 évben sok-sok erőt, biztatást, példát kaptam még a „csoportalkotókon” túl Tömösközi Sándortól – utóbbi megértő türelmével és bennem való bizodalomával készülhetett el eme számvetés, pillanatkép is. Remélem, a csoportunkban megfordult kollégák, hallgatók is olyan jó szívvvel gondolnak ránk vissza, ahogy mi is rájuk – köszönjük a munkával közösen eltöltött időt, mi is sokat tanultunk.

Köszönetet mondok Nógrádi Sándornak és Tóth Gézának (†) (Servitec Kft.), akikkel megtapasztalhattuk a mezőgazdasági és élelmiszeripari felhasználások mellett a NIR spektrométerek hálózatépítési lehetőségeit, és betekintést kaphattunk a gyógyszeripar alkalmazásokba, valamint Lipták Miklósnak és Varju Sándornak (PER-FORM Hungária Kft.), hogy az analitikai IR és a mikroszkópos technikák elérése révén tágitották szemléletünket és lehetőségeinket, ezzel megnyitva az utat számos akadémiai, kutatóintézeti és ipari partneri együttműködés felé.

*Keresztapám emlékének*

#### 5. Irodalom

- [1] Nemzetközi Vizuális Művészeti Alapítvány: MEDIAWAVE ARCHÍVUM – 1991-2019. [www.mediawavefestival.hu](http://www.mediawavefestival.hu)
- [2] Davies, A.M.C.: William Herschel and the discovery of near infrared energy. *NIR news* **11(2)** 3, 5 (2000). <https://doi.org/10.1255/nim.556>
- [3] Millman, P.M.: The Herschel Dynasty - Part I: William Herschel. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada* **74(3)** 134–146 (1980). <https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1980JRASC..74..134M>
- [4] Norris, K.H.: History of NIR. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* **4(1)** 31–37 (1996). <https://doi.org/10.1255/jnirs.941>
- [5] McClure, W.F.: 204 Years of near infrared technology: 1800–2003. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* **11(6)** 487–518 (2003). <https://doi.org/10.1255/jnirs.399>
- [6] Murray, I.: Scattered information: philosophy and practice of near infrared spectroscopy. In *Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 11th International Conference*. Edited by Davies, A.M.C. & Garrido-Varo, A., NIR Publications, Chichester, ISBN 0 952866 4 1, pp. 1–12 (2004). [https://www.impopen.com/book-summary/978-1-906715-23-6\\_ch1](https://www.impopen.com/book-summary/978-1-906715-23-6_ch1)
- [7] Dahm, D.J. & Dahm, K.D.: The Physics of Near-Infrared Scattering. In *Near-Infrared Technology in the Agriculture and Food Industries*, Edited by Williams, P. & Norris, K., American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, ISBN 1-891127-24-1, pp. 1–17 (2004).
- [8] Gergely, S.; Slezsák, J.; Salgó, A.: Monitoring the change in particle size of dried egg-pasta due to different grinding parameters by diffuse reflection near-infrared spectroscopic techniques. In *1st sensorFINT International Conference: Non-Destructive Spectral Sensors Advances and Future Trends. Book of Abstracts*. Edited by Sandak, A., Sajinčič, N., Fábrián, G. & Pérez-Marin, L., Innorenew CoE, Izola, Slovenia, ISBN 978-961-293-153-7, pp. 50–51 (2022). <https://doi.org/10.26493/978-961-293-153-7>
- [9] Borosy, A.P., Héberger, K., Horvai Gy., Kolossváry, I., Lengyel, A., Paksy, L., Rajkó, R. & Szepesváry, P.: Sokváltozós adatelemzés (kemometria). Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, ISBN 963 19 2114X (2001).
- [10] Kemény, S., Pusztai, É., Lakné Komka, K., Deák, A., Mihalovits, M., Bodnár-Kemény, K.: A 6 szigma statisztikai eszközei. Typotex Kiadó, Budapest, ISBN 978-963-4931-23-2 (2021).



- [11] Google Ireland Limited: Koronavírus-betegség 2019. <https://g.co/kgs/pxPPN8>
- [12] Dong, E., Du, H. & Gardner, L.: An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *The Lancet Infectious Diseases* **20(5)** 533–534 (2020). [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30120-1)
- [13] Király, O.: Ipar 4.0 avagy beléptünk a jövőbe – 5 fogalom, ami segít az eligazodásban. (2017) [http://konzervtelefon.blog.hu/2017/07/12/ipar\\_4\\_0\\_avagy\\_beleptunk\\_a\\_jovobe\\_5\\_fogalom\\_ami\\_segit\\_az\\_eligazodasban](http://konzervtelefon.blog.hu/2017/07/12/ipar_4_0_avagy_beleptunk_a_jovobe_5_fogalom_ami_segit_az_eligazodasban)
- [14] Lengyel, A.: A Győri Gyufagyár (Várostarténeti puzzle, 8. rész). (2015) <https://www.gyoriszalon.hu/news/2375/61/>
- [15] FORTEPAN / id. Konok Tamás: Magyarország, Győr – képszám: 43348. (1951) <https://fortepan.hu/hu/photos/?id=43348>
- [16] FORTEPAN / Bauer Sándor: Magyarország, Győr, vasútállomás – képszám: 109843. (1975) <https://fortepan.hu/hu/photos/?id=109843>
- [17] Stefan Warter / Audi AG: The 6th Model from Győr: Audi Q4 Manufactured by Audi Hungaria. (2017) [https://audi.hu/en/news/news/details/517\\_the\\_6th\\_model\\_from\\_gyor\\_audi\\_q4\\_manufactured\\_by\\_audi\\_hungaria/](https://audi.hu/en/news/news/details/517_the_6th_model_from_gyor_audi_q4_manufactured_by_audi_hungaria/)
- [18] Gergely, Sz.: Személyes közlés. (2013)
- [19] Gergely, S.; Farkas, K., Forgács, A. & Salgó, A.: Quantitative and qualitative differentiations of alcoholic beverages by near infrared spectroscopy. In *Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 11th International Conference*. Edited by Davies, A.M.C. & Garrido-Varo, A., NIR Publications, Chichester, ISBN 0 952866 4 1, pp. 569–572 (2004). [https://www.impopen.com/book-summary/978-1-906715-23-6\\_ch102](https://www.impopen.com/book-summary/978-1-906715-23-6_ch102)
- [20] Besenyő, G., Lenkovics, B., Slezsák, J., Szabó, É., Salgó, A., Lugasi, A. & Gergely, S.: Determination of ethanol and methanol content of Hungarian pálinka products by mid- and near-infrared methods. *Acta Alimentaria*, AALIM-S-21-00292 (in progress) (2022).
- [21] Kozma, B., Salgó, A. & Gergely, S.: Comparison of multivariate data analysis techniques to improve glucose concentration prediction in mammalian cell cultivations by Raman spectroscopy. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* **158** 269–279 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2018.06.005>
- [22] Kozma, B., Salgó, A. & Gergely, S.: On-line glucose monitoring by near infrared spectroscopy during the scale up steps of mammalian cell cultivation process development. *Bioprocess and Biosystems Engineering* **42(11)** 921–932 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00449-019-02091-z>
- [23] Szabó, É., Baranyai, L.Z., Sütő, Z., Salgó, A. & Gergely, S.: Attenuated total reflection fourier transform infrared spectroscopy based methods for identification of chromatography media formulations used in downstream processes. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* **180** 113060 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2019.113060>
- [24] Bonafarm-Bábolna Takarmány Kft.: NIR – a minőségi takarmánygyártás szolgálatában. (2019) <https://www.babolnatakarmany.hu/nir-a-minosegi-takarmanygyartas-szolgalataban/>
- [25] Harari, Y.N.: Sapiens. Az emberiség rövid története. Animus Könyvek, Budapest, ISBN 978 963 324 237 7 (2015).
- [26] Varga, J., Billes, F. & Bartók, Zs.: Rostos és szemcsés élelmiszerek transzmissziós NIR szinképe. (poszter) In *Szakmai hírek II., Élelmiszervizsgálati Közlemények* **34(2)** 123 (1988). [https://eviko.hu/Portals/0/ujsagok/Arcivum/1988/2\\_szam/EPA03135\\_elelmiszervizsgalati\\_kozlemenyek\\_1988\\_02\\_118-128.pdf](https://eviko.hu/Portals/0/ujsagok/Arcivum/1988/2_szam/EPA03135_elelmiszervizsgalati_kozlemenyek_1988_02_118-128.pdf)
- [27] Downey, G.: NIR in Budapest. *NIR news* **7(1)** 7 (1996). <https://doi.org/10.1255/nirn.341>
- [28] Salgó, A.: NIR spektroszkópiai alapú gyorsvizsgálati módszerek és azok beillesztése a Pannon búza átvételi rendszerébe. In *A Pannon minőségű búza nemesítése és termesztése*. Edited by Bedő, Z., Agroinform Kiadó és Nyomda Kft., Budapest, ISBN 978-963-502-881-8, pp. 95–102 (2008).
- [29] Schmidt, J., Gergely, S., Schönlechner, R., Grausgruber, H., Tömösközi, S., Salgó, A. & Berghofer, E.: Comparison of Different Types of NIR Instruments in Ability to Measure  $\beta$ -Glucan Content in Naked Barley. *Cereal Chemistry* **86(4)** 398–404 (2009). <https://doi.org/10.1094/CCHEM-86-4-0398>
- [30] Gergely, S. & Salgó, A.: Changes in moisture content during wheat naturation—what is measured by near infrared spectroscopy? *Journal of Near Infrared Spectroscopy* **11(1)** 17–26 (2003). <https://doi.org/10.1255/jnirs.350>

- [31] Gergely, S. & Salgó, A.: Changes in carbohydrate content during wheat naturation—what is measured by near infrared spectroscopy? *Journal of Near Infrared Spectroscopy* **13(1)** 9–17 (2005). <https://doi.org/10.1255/jnirs.452>
- [32] Gergely, S. & Salgó, A.: Changes in protein content during wheat naturation—what is measured by near infrared spectroscopy? *Journal of Near Infrared Spectroscopy* **15(1)** 49–58 (2007). <https://doi.org/10.1255/jnirs.687>
- [33] Scholz, É., Prieto-Linde, M.L., Gergely, S., Salgó, A. & Johansson, E.: Possibilities of using near infrared reflectance/transmittance spectroscopy for determination of polymeric protein in wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **87(8)** 1523–1532 (2007). <https://doi.org/10.1002/jsfa.2878>
- [34] Gergely, Sz.: Személyes közlés. (2012)
- [35] Wrigley, C.W., Tömösközi, S. & Békés, F.: Hungarian-Australian collaborations in flour milling and test milling over 120 years. *Cereal Research Communications* **39** 215–224 (2011). <https://doi.org/10.1556/CRC.39.2011.2.5>
- [36] Gergely, S., Handzel, L., Zoltán, A. & Salgó, A.: Near infrared spectroscopy—a tool for the evaluation of milling procedures. In *Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 10th International Conference*. Edited by Davies, A.M.C. & Cho, R.K., NIR Publications, Chichester, ISBN 978-1-906715-22-9, pp. 33–37 (2002). [https://www.impopen.com/book-summary/978-1-906715-22-9\\_ch7](https://www.impopen.com/book-summary/978-1-906715-22-9_ch7)
- [37] Izsó, E., Bartalné-Berceli, M., Salgó, A. & Gergely, S.: Off-line detection of milling processes of Pannon wheat classes by near infrared spectroscopic methods. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods* **10(2)** 207–214 (2018). <https://doi.org/10.3920/QAS2016.1059>
- [38] Izsó, E., Bartalné-Berceli, M., Salgó, A. & Gergely, S.: Monitoring of heat-treated wheat milling fractions by near infrared spectroscopic method. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods* **10(1)** 93–102 (2018). <https://doi.org/10.3920/QAS2016.1048>
- [39] Slezsák, J., Szabó, É., Gergely, S. & Salgó, A.: Measuring of food additives via polyethylene foils by NIR spectrophotometers using different optical arrangements. *Acta Alimentaria* **47(1)** 104–112 (2018). <https://doi.org/10.1556/066.2018.47.1.13> <https://m2.mtmt.hu/api/publication/2657548>
- [40] Maák, P., Péter, M., Gergely, S. & Richter, P.: Evaluation of NIR Absorption Spectra of Water-Melon Juices for Sugar Content. (2012) <https://m2.mtmt.hu/api/publication/2657548>
- [41] Kiss, B., Gergely, S., Salgó, A. & Németh, Á.: Investigation of Differences in the Cultivation of *Nannochloropsis* and *Chlorella* species by Fourier-transform Infrared Spectroscopy. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, **62(4)** 388–395 (2018). <https://doi.org/10.3311/PPch.12863>
- [42] CA19145 - European Network for assuring food integrity using non-destructive spectral sensors (SensorFINT). <https://www.cost.eu/actions/CA19145/#tabs|Name:overview>
- [43] Maák, P.: Személyes közlés. (2015)
- [44] Juhász, R., Gergely, S., Gelencsér, T., Salgó, A.: Relationship Between NIR Spectra and RVA Parameters During Wheat Germination. *Cereal Chemistry* **82(5)** 488–493 (2005). <https://doi.org/10.1094/CC-82-0488>
- [45] Salgó, A., Gergely, Sz. & Juhász, R.: Kémiai és fizikai ujjlenyomatok. In *KÖZPONTI ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KUTATÓINTÉZET, AZ MTA ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KOMPLEX BIZOTTSÁGA és a MAGYAR ÉLELMÉZÉSIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET közös rendezésében 2006. március 2-án tartandó 323. TUDOMÁNYOS KOLLOKVIUM előadásainak rövid kivonata. 295. füzet*. Budapest, p. 7 (2006). <https://metetudastar.wordpress.com/2021/02/20/mta-ekb-mete-keki-tudomanyos-kollokviumok-osszefoglaloi/>
- [46] Hanzelik, P.P., Gergely, S., Gáspár, C. & Győry, L.: Machine learning methods to predict solubilities of rock samples. *Journal of Chemometrics* **34(2)** e3198 (2020). <https://doi.org/10.1002/cem.3198>
- [47] Bredács, M., Barretta, C., Castillon, L.F., Frank, A., Oreski, G., Pinter, G. & Gergely, S.: Prediction of polyethylene density from FTIR and Raman spectroscopy using multivariate data analysis. *Polymer Testing* **104** 107406 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107406>
- [48] Gergely Sz.: A sárkány és a spektrumok – fejtörők az infravörös spektroszkópia világából (Bruckner-termi előadások). *Magyar Kémikusok Lapja* **71(6)** 182–184. [https://epa.oszk.hu/03000/03005/00006/pdf/EPA03005\\_MKL\\_2016\\_06\\_182-197.pdf#page=1](https://epa.oszk.hu/03000/03005/00006/pdf/EPA03005_MKL_2016_06_182-197.pdf#page=1)

- [49] Gergely, Sz. & Salgó, A.: (Kép)pontról (kép)pontra: az infravörös képalkotás alapjai és biomérnöki alkalmazásai. In *KÖZPONTI KÖRNYEZET- ÉS ÉLELMISZER-TUDOMÁNYI KUTATÓINTÉZET, AZ MTA ÉLELMISZERTUDOMÁNYI TUDOMÁNYOS BIZOTTSÁGA és a MAGYAR ÉLELMISZER-TUDOMÁNYI ÉS TECHNOLÓGIAI EGYESÜLET közös rendezésében 2013. november 29-én tartandó 353. TUDOMÁNYOS KOLLOKVIUM előadásainak rövid kivonata*. 326. füzet. Budapest, p. 2 (2013). <https://metetudastar.wordpress.com/2021/02/20/mta-ekb-mete-keki-tudomanyos-kollokviumok-osszefoglalo/>
- [50] Kontsek, E., Pesti, A., Björnstedt, M., Üveges, T., Szabó, E., Garay, T., Gordon, P., Gergely, S. & Kiss A.: Mid-Infrared Imaging Is Able to Characterize and Separate Cancer Cell Lines. *Pathology & Oncology Research* **26(4)** 2401–2407 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12253-020-00825-z>
- [51] Kontsek, E., Pesti, A., Slezsák, J., Gordon, P., Tornóczki, T., Smuk, G. & Gergely, S. & Kiss, A.: Mid-Infrared Imaging Characterization to Differentiate Lung Cancer Subtypes. *Pathology & Oncology Research* **28** 1610439 (2022). <https://doi.org/10.3389/pore.2022.1610439>
- [52] Gergely, Sz.: Személyes közlés. (2014)
- [53] Gordon, P.: Személyes közlés. (2014)
- [54] Gergely, Sz.: Személyes közlés. (2014)
- [55] Bordós, G., Gergely, S., Háhn, J., Palotai, Z., Szabó, É., Besenyő, G., Salgó, A., Harkai, P., Kriszt, B. & Szoboszlai, S.: Validation of pressurized fractionated filtration microplastic sampling in controlled test environment. *Water Research* **189** 116572 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116572>
- [56] Mária, Á., Bordós, G., Gergely, S., Büki, M., Háhn, J., Palotai, Z., Besenyő, G., Szabó, É., Salgó, A., Kriszt, B. & Szoboszlai, S.: Validation of microplastic sample preparation method for freshwater samples. *Water Research* **202** 117409 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117409>
- [57] Horgos, J.: Infravörös fény a hamis gyógyszerek ellen. (2013) [https://index.hu/tudomany/2013/08/12/infravoros\\_fennyel\\_a\\_hamis\\_gyogyszerek\\_ellen/](https://index.hu/tudomany/2013/08/12/infravoros_fennyel_a_hamis_gyogyszerek_ellen/)
- [58] HKZS: Hamis a pirula? (Vegyérték). *National Geographic* **12(4)** 22 (2014).
- [59] Mrad, M.A., Csorba, K., Galata, D.L., Nagy, Z.K. & Nagy, B.: Comparing Spectroscopy Measurements in the Prediction of in Vitro Dissolution Profile using Artificial Neural Networks. In *Proceedings of 3rd International Conference on Data Science and Machine Learning (DSML 2022)*. Edited by Wyld, D.C. & Nagamalai, D., AIRCC Publishing Corporation, Chennai, ISBN 978-1-925953-75-6, pp. 1-11 (2022). <https://doi.org/10.5121/csit.2022.121501>
- [60] Galata, D.L., Madarász, L. & Nagy Zs.K.: A gépi látás gyógyszer-technológiai alkalmazásai (Továbbképző közlemények). *Gyógyszerészet* **66(10)** (2022). <https://mgyt.hu/gyogyszereszet-2022-oktober/>
- [61] Antaliné Hujter, Sz.: A „Győr városát végveszéllyel fenyegető földrengés” és más régi földmozgások (Várostörténeti puzzle, 108. rész). <https://www.gyoriszalon.hu/news/11469/61/> (2018)
- [62] ELKH: Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet (FI) Litoszféra-fizika egység. (2021) <https://www.youtube.com/watch?v=TtgO7ZGwa1o>
- [63] Berkesi, M., Czuppon, G., Szabó, C., Kovács, I., Ferrero, S., Boiron, M.-C. & Peiffert, C.: Pargasite in fluid inclusions of mantle xenoliths from northeast Australia (Mt. Quincan): evidence of interaction with asthenospheric fluid. *Chemical Geology* **508** 182–196 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.06.022>
- [64] Varga, P., Győri, E. & Timár, G.: The Most Devastating Earthquake in the Pannonian Basin: 28 June 1763 Komárom. *Seismological Research Letters* **92(2A)** 1168–1180 (2021). <https://doi.org/10.1785/0220200411>
- [65] FORTEPAN / id. Konok Tamás: Magyarország, Győr, Káptalándomb, Szent László napi körmenet a Szent László hermával, a Gutenberg tér felől nézve – képszám: 42765. (1939) <https://fortepan.hu/hu/photos/?id=42765>
- [66] Szlovákiai Magyar Művelődési Intézet - Dunaszerdahely: Telegdy-Kováts László. (2019) <https://csemadok.sk/jeles-felvideki-szemelyisegek/telegdy-kovats-laszlo/>
- [67] Telegdy-Kováts László (1902-1987) Colorized-Enhanced-1-Animated.mp4 [https://bmeedu-my.sharepoint.com/:v/g/personal/gergely\\_szilveszter\\_edu\\_bme\\_hu/EZy-N837T\\_5Mgi7UvD1b7AIBLwTUO49LalRrDe2ib1jCA?e=ojH6b1](https://bmeedu-my.sharepoint.com/:v/g/personal/gergely_szilveszter_edu_bme_hu/EZy-N837T_5Mgi7UvD1b7AIBLwTUO49LalRrDe2ib1jCA?e=ojH6b1)
- [68] Salgó, A.: Tradíciók és megújulások. Az Élelmiszerkémia Tanszék alapításának 100. évfordulója. „100 + 10 év élelmiszertudomány a 240 éves BME-n” jubileumi szakmai rendezvény előadása. (2021)
- [69] Gergely, Sz.: Személyes közlés. (2021)