

Abonyi János¹ – Czvetkó Tímea¹ – Sebestyén Viktor^{1,2}

¹ MTA-PE Lendület Komplex Rendszerek Figyelemmel Kísérése Kutatócsoport

² Pannon Egyetem Fenntarthatósági Megoldások Kutatólabor

janos@abonyilab.com | czvetko.tim@gmail.com | sebestyenv@almos.uni-pannon.hu

Az adattudomány eszköztárának alkalmazási lehetőségei a klímaváltozás kihívásainak azonosításában és kezelésében

Bevezetés

A klímaváltozás összetett problémáinak jelentőségét elsőként az 1979-es Egyezmény a nagy távolságra jutó, országhatárokon átterjedő levegőszennyezésről nemzetközi szintű megállapodás (Genfi Egyezmény) ismerte el. A legutolsó és legjelentősebb párizsi éghajlatvédelmi egyezmény 2015-ben rögzítette, hogy a globális átlaghőmérséklet-emelkedés mértéke az iparosodás előtti szintet maximum 2 °C-kal haladhatja meg. Ezt a célt később 1,5 °C alatti hőmérséklet-emelkedésre csökkentették, mivel felismerték, hogy az éghajlatváltozás okozta kockázatokat jelentősen mérsékelni kell [1]. Az ezzel kapcsolatos nemzeti feladatokat 2015-ben az Egyesült Nemzetek Szervezete a 13. fenntarthatósági célként definiálta.

A probléma komplex kezelése olyan tudományos eredményeket igényel, amelyekre közpolitikai stratégiai döntéseket [2], a társadalom magatartási hajlandóságának ösztönzésére alkalmas akciókat [3] és a gazdasági élet célirányos szabályozó és ösztönző piaci válaszainak kidolgozását [4] lehet alapozni. Ennek az összetett társadalmi igénynek eleget téve a kutatások a klímaváltozás okainak alapos megismerésére [5], előrejelzésekre alkalmas modellek fejlesztésére [6], a hatások mérséklésére vonatkozó megoldások kidolgozására [7], valamint a társadalmi szemléletformálás lehetőségeinek feltárására [8] fókuszáltak.

A klímaváltozással kapcsolatos kutatások homlokterében lévő problémák csaknem mindegyike interdiszciplináris megközelítést kíván. A természet és a társadalom kapcsolatrendszerének megismerését célzó erőfeszítések összességéként alakult ki a fenntarthatóság tudománya [9]: ez a transzdiszciplináris tudományterület olyan kérdésekre fókuszál, amelyek csak az adattudomány eszköztárának intenzív alkalmazásával válaszolhatók meg.

- Miként írható le és elemezhető a természet és a társadalom közötti dinamikus kapcsolatrendszer?

A környezet, a gazdaság és a társadalom közötti dinamikus kapcsolatrendszer leírásának és elemzésének egyre inkább elterjedt eszköze a dinamikus rendszer-modelleken alapuló szimuláció (Systems Dynamics Modelling) [10]. A koncepciót kiválóan jellemzi az eszköztár leghíresebb képviselője, a World3 modell, amely a népesség, az ipari növekedés, az élelmiszer-termelés és az ökoszisztéma korlátainak időben változó kap-

csolatrendszerét írta le a Római Klub számára, és érzékelteti a fenntarthatóság problematikáját *A növekedés határai* című könyvben [11].

A modellek állapotváltozói közti kapcsolatok feltárása idő- és költségigényes célirányos interdiszciplináris kutatásokat igényel. Az adattudomány eszköztára ezt a munkát a kapcsolatokra vonatkozó hipotézisek automatizált generálásával és validálásával teheti hatékonyabbá [12], ugyanis az adatalapú dinamikus modellek alkalmazása a kapcsolatokat valószínűsítő korrelációk feltárásán túlmutatva ok-okozati kapcsolatokra vonatkozó információt is nyújthat [13].

Annak érdekében, hogy a megközelítés a klímaváltozás hatásait leíró részletesebb elemzésekben is alkalmazható legyen, a legfontosabb feladat a heterogén adat- és információforrások integrálása és együttes kezelése. Az e megközelítésben rejlő lehetőséget jól illusztrálja az az esettanulmány, amelyben a társadalmi-gazdasági változók összekapcsolásával a klímaváltozás globális élelmiszer-termelési rendszerre gyakorolt hatását tárták fel [14].

- Miként kezelhetők a késleltetések, a tehetetlenség és a bizonytalanság a modellekben?

A klímaváltozást leíró változókból rejlő bizonytalanság hatásának számszerűsítése a klímaváltozás előrejelzésére fejlesztett az RCP 4.5 és RCP 8.5 CMIP modellek [15], [16] Monte Carlo-szimulációval történő kiértékelése lehet alkalmas [17]. A bizonytalanság és kockázatok számszerűsítésére alkalmas szimulációs vizsgálatok tervezésére, kiértékelésére és a környezeti és társadalmi adatokkal való integrálására szolgáló célirányos megoldások integrált fejlesztése a legfontosabb előttünk álló feladat [18].

- Miként tárható fel a társadalmi-természeti rendszer sebezhetőségét és ellenálló képességét meghatározó folyamatok?

A sérülékenységi fogalmi rendszerét az Éghajlatváltozási Környezetközi Testület (IPCC) alapozta meg. A sérülékenységet meghatározó összetett hatásláncok feltárása a nem klimatikus tényezők azonosítását és modellbe illesztését követeli meg, ideértve az alkalmazkodóképességet és a várható károk becslését is jellemző modellek fejlesztését [19].

Kutatócsoportunk úgy gondolja, hogy a sérülékenységi érté-

kelésében egyre nagyobb szerepet kap a hálózattudomány eszköztára, ugyanis az állapotváltozók és kapcsolatok jelentősége célirányosan minősíthető a dinamikus modellek állapotváltozói alapján készített hálózatban betöltött szerepe alapján [20].

- *Miként mérhető és kezelhető a növekvő kockázat? Milyen tudományosan megalapozott „határok” és „korlátok” definiálhatók?*

A klíma-indukált változások kockázatainak klímamodellek segítségével történő számszerűsítése azt mutatja, hogy a következő kétszáz évben a kockázatok még akkor is tovább nőnek, ha a légkör összetétele állandó marad [21]. A kockázat-felfogásban a társadalmi-kulturális tényezőknek különösen nagy jelentőségük van [22], így a társadalmi és kulturális tényezőket leíró változók modellekbe való integrálása különösen fontos feladat a jövőre nézve.

A kockázatok értékeléséhez elengedhetetlenül szükségesek azok az elemzések, amelyek feltárják, hogy az emberi tevékenység okozta zavaró hatások hogyan befolyásolják az ökoszisztéma kényes egyensúlyát, és hol vannak azok a korlátok és határok, melyek átlépése már felvállalhatatlan kockázatot jelent [23]. E határok a szimulációs eszközök és a gépi tanulás eszköztárának integrált alkalmazásával tárhatók fel [24].

- *Milyen támogató/motiváló rendszerek – szabályok, normák, tudományos információk – alakíthatók ki a társadalom kapacitásának, fenntarthatóságának növelésére? Milyen jelzésekre, útmutatásokra van szükség a társadalom fenntarthatósági pályára állításához? Miként lehet napjaink elszigetelt kutatásait, elemzéseit, döntéstámogató rendszereit hatékonyabban integrálni?*

A fenti kérdések megválaszolásához, azaz a klímaváltozás okainak hosszabb távú felszámolásához és hatásainak csökkentéséhez a tudományos ismereteket integrálni és célirányosan rendszerezni kell [25].

A cikk arra szeretne rávilágítani, hogy mindez pontosan miként valósítható meg. A következő részben ismertetjük az adattudomány, pontosabban a nagy adatok kezelésének, azaz a Big Data-nak az eszköztárát, és szisztematikusan áttekintjük a klímaváltozáshoz kapcsolódó eddigi alkalmazásokat és lehetőségeket. A tartalmi áttekintést az eddigi megoldások metaelemzése követi, melyben a hálózatelemzés eszköztárának felhasználásával adunk áttekintést a kapcsolódó tématerületekről. A tanulmány az elemzésekbe bevonható adatok forrásait és típusait is áttekinti a szerzők munkájának ismertetésén keresztül. Az összefoglalásban a legfontosabb megállapításokon túl a klímaváltozás modellezéséhez és hatásainak csökkentéséhez kapcsolódó, legfontosabbnak tartott adatintenzív kutatási és fejlesztési feladatokat is rögzítjük, ismertetve a Pannon Egyetemen közeljövőben induló Éghajlat-változás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium adattudományi programjának tervezett tevékenységét.

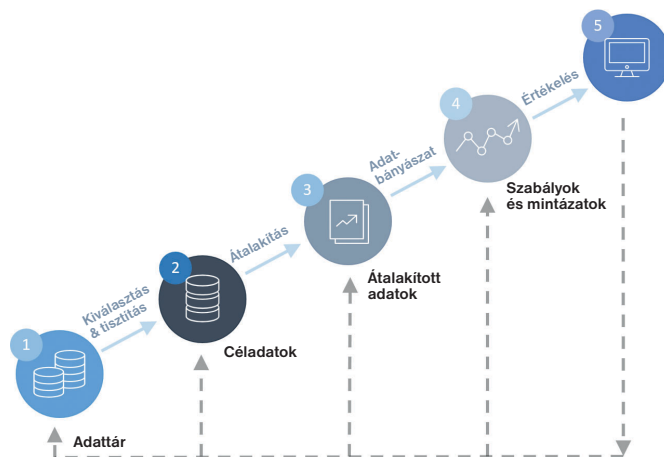
A nagy adatok elemzésének eszköztára, a Big Data

A klímaváltozáshoz hasonló komplex, társadalmi tényezőket fegyelemben vevő interdiszciplináris problémák megoldása olyan integratív megközelítésmódot igényel, amit akár Tudomány 2.0 címkével is jellemezhetünk [26]. A Tudomány 2.0 alap gondolata, hogy 1) az összetett rendszerek elemei közötti kapcsolatokra fókuszál, és 2) mivel a kontrollált kísérletek nem minden kapcsolatot fednek, így valós környezetből, azaz az emberek, a technológia és a társadalom integrált rendszeréből származó adatok elemzésére van szükség.

A Tudomány 2.0 tehát nagyméretű, különböző formátumú és eltérő forrásból származó adatok elemzését, azaz az úgynevezett Big Data-technikák alkalmazását igényli; ugyanis Big Data alatt azoknak az adatelemzési és kezelési módszereknek az összességét értjük, amelyeket az elmúlt évtizedben annak érdekében fejlesztettek, hogy a nagy adatok gyűjtése, tárolása, elemzése, keresése, megosztása és megjelenítése a mennyiség, a sebesség, a változatosság, a megfelelőség és az alkalmazhatóság értéke [27] szempontjából hatékony legyen [28].

A Big Data-megoldások alapvetően a tárgyak internetéhez (Internet of Things (IoT), [29]) és a hatékony adattárolást és párhuzamos adatfeldolgozást biztosító felhőalapú technológiák fejlesztéséhez kapcsolódnak. Az IoT, mint a különböző számítástechnikai eszközök, tárgyak és emberek összekapcsolását biztosító technológia [30], a klímaváltozás hatásainak követéséhez és előrejelzéséhez elengedhetetlenül szükséges környezeti adatok gyűjtésének is hajtómotorja [31].

Az infrastrukturális háttér fejlődésén túl a lehetőségek elsődleges bővülését az adatelemzési (azaz gépi tanulási és adatbányászati) algoritmusok fejlődése jelenti [32]. Az adatbányászat előzetesen nem ismert, de potenciálisan hasznos információk feltárásának (1. ábra) folyamatát jelenti, amely a heterogén adat-



1. ábra. Az adatbányászat folyamata

források adattárházban történő integrálásától – az adatokban való mintázatok keresésén át – a feltárt tudás alkalmazásáig terjedő tevékenységeket integrálja.

Az adatokban keresett mintázat, azaz a kapcsolódó algoritmusok alapján az 1. táblázatban összefoglalt adatbányászati technikákat különböztetjük meg, felvázolva azok potenciális alkalmazási lehetőségeit is.

A Big Data-technikákat alkalmazó klímaváltozást vizsgáló elemzések

Az elmúlt 10 évben a klímatudomány területén a publikációk száma megduplázódott; a Scopus adatbázis 2019-ben már 27 681 tudományos közlemény rögzített. A klímaváltozással kapcsolatos munkák egyre inkább alkalmazzák a Big Data-technikákat, ugyanis ez az eszköztár hatékonyan hozzá tud járulni komplex problémák megértéséhez, előrejelzéséhez, és segíti a döntéstámogató és -elemző modellek megalkotását [33].

Annak érdekében, hogy feltárjuk a Big Data-vezérelt, klímaváltozáshoz kötődő elemzési módszereket és technikákat, kulcszóelemzést végeztünk [34], amely során a Scopus adatbázisban

értékes példákat találunk a multimodelles klímaváltozási adat-elemzés [46] és az üvegházhatású gázok földrajzi eloszlásának elemzése kapcsán [46], [47].

A zöld klaszter az üvegházhatásúgáz-kibocsátás, az energia-hatékonyság, a környezetvédelmi politika, a veszélyeshulladék-kibocsátás minimalizálása, az energiahatékonyság maximalizálása [48], a körforgásos gazdaság és a fenntartható fogyasztás [49], azaz a fenntartható fejlődés problémakörébe tartozó közleményeket fogja össze.

A sötétkéssel jelölt témakör a városiasodás hatásának és a légkör [50], a szárazföld [51] és/vagy a vízkészlet [52] tér- és időbeli állapotértékelésére alkalmas műholdas távérzékelés kutatásait ábrázolja [53].

A citromsárga színnel jelzett klaszter magában foglalja a globális klímaváltozással kapcsolatos adatelemzési és politikai döntéshozók, valamint a nyilvánosság számára készült megjelenítési megoldásokat [54]. A tér- és időbeli adatok értékelése vizuális elemzőrendszerek fejlesztését igényli. Az éghajlati környezet elemzése modellszámításokkal [55] és 3D-s szimulációval [56] gazdagítható.

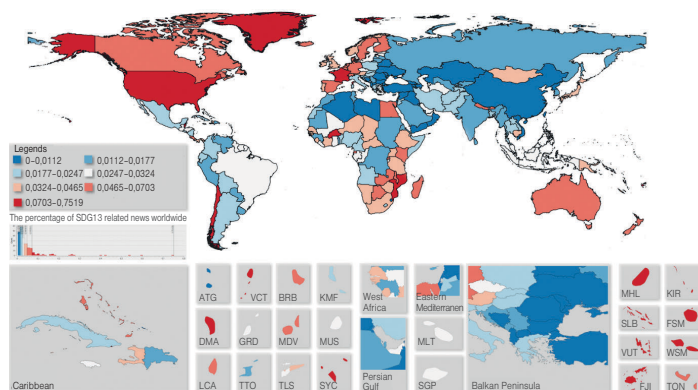
Adatforrások innovatív alkalmazási lehetőségei

Az éghajlatváltozás komplex kérdésének vizsgálata heterogén adatforrások innovatív módon integrált elemzését követeli meg. Ilyen információforrás lehet:

- A műholdas távérzékelés, ami jelentős előrelépést jelentett a klímarendszer megértésében, a légkör, a szárazföld és az óceán folyamatainak, tér- és időbeli állapotainak kvantitatív mérési megoldásaival [53].
- Közösségi médiából származó adatok, például a Twitter [57].
- Térinformatikai rendszerekből származó adatok, például a GEOSS [58].
- Makrogazdasági indikátorok [59] és kormányzati adatok [60].
- Az ENSZ által gyűjtött fenntarthatósági indikátorok [61].
- A társadalom véleménye a fenntartható fejlődési célok teljesüléséről, fontosságáról [62].
- Nyílt kormányzati adatok [63].
- Az európai országok klíma-attitűdje [64].
- Hírek. Az éghajlatváltozás megértésében jelentős szerepet játszhat a média mint a nyilvánosság első számú információforrása. A lakosság és a politikai döntéshozók nem minden esetben értik kellő mértékben a klímaváltozást [65], ezért a világhírek feltáró elemzése jelentősen hozzájárulhat a klímaváltozással kapcsolatos kérdések megértéséhez.

Kutatócsoportunk megmutatta a világ híreinek a klímaváltozással és a fenntarthatósággal kialakult összefüggéseit [66]. A GDELT adatbázisából 2019-ben 60 851 572 hírt elemeztünk, amelyeket a Világbank taxonómiája alapján tudtunk megcímkézni. A klímaváltozással kapcsolatos hírek gyakoriságát a világ országai-ban a **3. ábra** mutatja.

A **3. ábra** az éghajlatváltozási akciókkal kapcsolatos hírek eloszlását mutatja az adott országban megjelent összes hír százalékában. A kék szín az alacsonyabb, a piros a nagyobb előfordulási arányt jelzi. Egyértelműen elmondható, hogy a klímaváltozás fontossága a kis szigetállamok esetében kiugróan magas. A műholdas képekből származó 25 éves idősorok adatainak elemzése azt mutatja, hogy 2100-ra a tengerszint 53–77 cm-es emelkedése várható [67]. A növekvő tengerszint sok alacsonyan fekvő part menti és vízparti területet árasztana el: ennek hatása a kis szigetállamok esetében drasztikus lehet: így érthető az éghajlatvál-



3. ábra. A klímaváltozással kapcsolatos hírek gyakorisága [66]

tozás iránti érdeklődésük. Az eredmények további részletes ismeretése meghaladja a tanulmány kereteit, ezzel a példával csupán illusztrálni szeretnénk volna, hogy a hírek globális elemzése hatékonyan integrálható a klímastratégiákkal kapcsolatos menedzsmenttevékenységbe [68].

A tanulmány legfontosabb üzenete, hogy a klímaváltozás kihívásainak és kezelési lehetőségeinek azonosításában az adat- és rendszertudomány eszköztára jelentős segítséget tud nyújtani. Ez az eszköztár ugyanis segíti a problémák megoldásához elengedhetetlenül szükséges heterogén adat- és információforrások integrálását, a szimulációs vizsgálatok tervezését, kiértékelését és a környezeti és társadalmi összefüggések megértését. Kijelenthetjük, hogy a klimatikus tényezők kizárólagos értékelése nem alkalmas hatékony alkalmazkodási stratégiák kialakítására, ezért a társadalmi és kulturális tényezőket is leíró, nem klimatikus tényezőket szintén bele kell illeszteni a modellekbe.

A Pannon Egyetemen most induló Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratóriumban célul tűztük ki, hogy a fenti alapelveket követve olyan döntéstámogató megoldásokat fejlesszünk, amelyek figyelembe veszik az ökoszisztéma kényes egyensúlyát befolyásoló emberi tevékenységeket, ugyanakkor kiterjednek a korlátok és határok vizsgálatára. Úgy véljük, hogy e megoldásokkal majd növelni lehet a települések klímaérzékenységet, a társadalmi-környezeti rezilienciát, továbbá bővíthető lesz a klímaváltozással összefüggő elemzési potenciál is.

IRODALOM

- [1] J. Rogelj et al., Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. *Nature* (2016) 534/7609. 631–639.
- [2] M. Di Gregorio et al., Multi-level governance and power in climate change policy networks. *Glob. Environ. Change* (2019) 54, 64–77.
- [3] B. Xie et al., Predicting climate change risk perception and willingness to act. *Journal of Environmental Psychology* (2019) 65, 101331.
- [4] C. Wright, D. Nyberg, An Inconvenient Truth: How Organizations Translate Climate Change into Business as Usual. *Academy of Management Journal* (2017) 60/5, 1633–1661.
- [5] G. C. Hegerl et al., Causes of climate change over the historical record. *Environmental Research Letters* (2019) 14/12, 123006.
- [6] X. Du, N. K. Shrestha, J. Wang, Assessing climate change impacts on stream temperature in the Athabasca River Basin using SWAT equilibrium temperature model and its potential impacts on stream ecosystem. *Sci. Total Environ.* (2019) 650, Pt 2, 1872–1881.
- [7] A. Gomez-Zavaglia, J. C. Mejuto, J. Simal-Gandara, Mitigation of emerging implications of climate change on food production systems. *Food Res. Int.* (2020) 134/109256.
- [8] M. Iturriza et al., Awareness-development in the context of climate change resilience. *Urban Climate* (2020) 32/100613.
- [9] R. Kates, W. C. Clark, Sustainability Science. SSRN Electronic Journal. doi: 10.2139/ssrn.257359.
- [10] G. Honti, G. Dörgő, J. Abonyi, Review and structural analysis of system dynamics models in sustainability science. *Journal of Cleaner Production* (2019) 240, 118015.
- [11] D. H. Meadows et al., The Limits to Growth: A report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind, 1972.

- [12] V. Sebestyén et al., Network model-based analysis of the goals, targets and indicators of sustainable development for strategic environmental assessment. *J. Environ. Manage.* (2019) 238, 126–135.
- [13] G. Dörgö, V. Sebestyén, J. Abonyi, Evaluating the Interconnectedness of the Sustainable Development Goals Based on the Causality Analysis of Sustainability Indicators. *Sustainability* (2018) 10/10, 3766.
- [14] G. Fischer et al., Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990–2080. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* (2005) 360/1463, 2067–2083.
- [15] K. E. Taylor, R. J. Stouffer, G. A. Meehl, An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society* (2012) 93/4, 485–498.
- [16] V. Eyring et al., Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development* (2016) 9/5, 1937–1958.
- [17] R. B. Mallick et al., Understanding the impact of climate change on pavements with CMIP5, system dynamics and simulation. *International Journal of Pavement Engineering* (2018) 19/8, 697–705.
- [18] Change, Intergovernmental Panel On Climate, Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, in Evaluation of climate models (szerk. Flato, Gregory et al.). Cambridge University Press, 2014, 741–866.
- [19] H.-M. Füssel, R. J. T. Klein, Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. *Climatic Change* (2006) 75/3, 301–329.
- [20] D. Leitold, A. Vathy-Fogarassy, J. Abonyi, Network-Based Analysis of Dynamical Systems: Methods for Controllability and Observability Analysis, and Optimal Sensor Placement. Springer Nature, 2020.
- [21] M. Scholze et al., A climate-change risk analysis for world ecosystems. *PNAS* (2006) 103, 13116–13120.
- [22] S. van der Linden, The social-psychological determinants of climate change risk perceptions: Towards a comprehensive model. *Journal of Environmental Psychology* (2015), 41, 112–124.
- [23] W. et al Steffen, Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* (2015) 347/6223, 1259855.
- [24] T. M. Lenton, Early warning of climate tipping points. *Nature Climate Change* (2011) 1/4, 201–209.
- [25] S. Pauliuk, Making sustainability science a cumulative effort. *Nature Sustainability* (2020) 3/1, 2–4.
- [26] B. Shneiderman, *Science 2.0*. Science, 2008.
- [27] D. Laney, 3D data management: Controlling data volume, velocity and variety. META group research note, 2001.
- [28] J. et al Anuradha, A Brief Introduction on Big Data 5Vs Characteristics and Hadoop Technology. *Procedia Computer Science* (2015) 48, 319–324.
- [29] E. G. Symeonaki, K. G. Arvanitis, D. D. Piromalis, Cloud Computing for IoT Applications in Climate-Smart Agriculture: A Review on the Trends and Challenges Toward Sustainability. *Innovative Approaches and Applications for Sustainable Rural Development*, 2019, 147–167.
- [30] A. Lavin, D. Klabjan, Clustering time-series energy data from smart meters. *Energy Efficiency* (2015) 8/4, 681–689.
- [31] A. Salam, Internet of Things for Environmental Sustainability and Climate Change. *Internet of Things*, 2020, 33–69.
- [32] U. M. A. S. Fayyad, Data mining and knowledge discovery. *Tutorial Notes at PADD'97-1st Int.* 1997.
- [33] H. Hassani, X. Huang, E. Silva, Big Data and Climate Change. *Big Data and Cognitive Computing* (2019) 3/1, 12.
- [34] S. Lozano, L. et al., Complex network analysis of keywords co-occurrence in the recent efficiency analysis literature. *Scientometrics* (2019) 120/2, 609–629.
- [35] A. Buszta, J. Mazurkiewicz, Climate Changes Prediction System Based on Weather Big Data Visualisation. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2015, 75–86.
- [36] K. Demertzis, L. Iliadis, Adaptive Elitist Differential Evolution Extreme Learning Machines on Big Data: Intelligent Recognition of Invasive Species. *Advances in Big Data*, 2017, 333–345.
- [37] R. David et al., Tackling climate change with machine learning, *arXiv preprint arXiv:1906.05433*, 2019.
- [38] E. E. Rees et al., Risk assessment strategies for early detection and prediction of infectious disease outbreaks associated with climate change. *Can. Commun. Dis. Rep.* (2019) 45/5, 119–126.
- [39] G. Fenu, F. M. Mallocci, An Application of Machine Learning Technique in Forecasting Crop Disease, in *Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Big Data Research*. Cergy-Pontoise France, Nov. 2019, 76–82.
- [40] E. Lasso, J. C. Corrales, Towards an Alert System for Coffee Diseases and Pests in a Smart Farming Approach Based on Semi-supervised Learning and Graph Similarity, in *Advances in Information and Communication Technologies for Adapting Agriculture to Climate Change*, vol. 687 (szerk. P. Angelov, J. A. Iglesias, J. C. Corrales). Springer International Publishing, 2018, 111–123.
- [41] N. H. Rao, Big Data and Climate Smart Agriculture-Status and Implications for Agricultural Research and Innovation in India. *Proc. Indian Natl. Sci. Acad.* (2018) 96.
- [42] D. Yan-e, Design of Intelligent Agriculture Management Information System Based on IoT. *2011 Fourth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 2011.
- [43] G. Nikesh et al., IoT based smart agriculture. *International Journal of advanced research in Computer and Communication Engineering* (2016) 838–842.
- [44] M. E. J. N. Garcia, Marie Elaine Joyce, A. A. Hernandez, Pattern Analysis of Natural Disasters in the Philippines. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, 2018, 74–83.
- [45] C. Yang, G. Su, J. Chen, Using big data to enhance crisis response and disaster resilience for a smart city. *2017 IEEE 2nd International Conference on Big Data Analysis (ICBDA)*, 2017.
- [46] S. Fiore et al., Towards an Open (Data) Science Analytics-Hub for Reproducible Multi-Model Climate Analysis at Scale. *2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 2018.
- [47] N. Charkovska et al., High-resolution spatial distribution and associated uncertainties of greenhouse gas emissions from the agricultural sector. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* (2019) 24/6, 881–905.
- [48] S. Fathi, R. Srinivasan, Climate Change Impacts on Campus Buildings Energy Use, *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Urban Building Energy Sensing, Controls, Big Data Analysis, and Visualization – UrbSys'19*, 2019.
- [49] Z. Wang et al., Big data: New tend to sustainable consumption research. *J. Clean. Prod.* (2019) 236, 117499.
- [50] J. Zhao et al., International reanalysis cooperation on carbon satellites data. *Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XXIV*, 2019.
- [51] Y. Yan et al., Assessing the contributions of climate change and human activities to cropland productivity by means of remote sensing. *International Journal of Remote Sensing* (2020) 41/5, 2004–2021.
- [52] G. B. Senay et al., Satellite-based water use dynamics using historical Landsat data (1984–2014) in the southwestern United States. *Remote Sensing of Environment* (2017) 202, 98–112.
- [53] J. Yang et al., The role of satellite remote sensing in climate change studies. *Nature Climate Change* (2013) 3/10, 875–883.
- [54] J. R. Alder, S. W. Hostetler, Web based visualization of large climate data sets. *Environmental Modelling & Software* (2015) 68, 175–180.
- [55] Z. Li, Q. Huang, G. J. Carbone, F. Hu, A high performance query analytical framework for supporting data-intensive climate studies. *Computers. Environment and Urban Systems* (2017) 62, 210–221.
- [56] Y. Xie, X. Kou, P. Li, A simulation method of three-dimensional cloud over WRF big data. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* (2019) 252.
- [57] S. M. Jang, S. Mo Jang, P. Sol Hart, Polarized frames on 'climate change' and 'global warming' across countries and states: Evidence from Twitter big data. *Global Environmental Change* (2015) 32, 11–17.
- [58] M. Craglia et al., Exploring the depths of the global earth observation system of systems. *Big Earth Data*, (2017) 1, 21–46.
- [59] The World Bank, Indicators, The World Bank. <https://data.worldbank.org/indicator>
- [60] The World Bank, GovData360, The World Bank. <https://govdata360.worldbank.org/>
- [61] United Nations Statistics Division — SDG Indicators. <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/database/>
- [62] United Nations, The United Nations Global Survey for a Better World, My World. <http://about.myworld2030.org/results/>
- [63] B. Ubaldi, Open government data: Towards empirical analysis of open government data initiatives. *OECD Obs.*, 2013.
- [64] EES, Public Attitudes to Climate Change (ESS8 2016), European Social Survey. <https://www.europeansocialsurvey.org/data/themes.html?t=climatech>
- [65] L. Antilla, Climate of scepticism: US newspaper coverage of the science of climate change. *Global Environmental Change* (2005) 15/4, 338–352.
- [66] T. Czvetkó et al., The intertwining of world news and Sustainable Development Goals: an effective monitoring tool. Submitted to: *Heliyon*.
- [67] R. S. Nerem et al., Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *PNAS* (2018) 115/9, 2022–2025.
- [68] S. Hallegatte et al., Assessing climate change impacts, sea level rise and storm surge risk in port cities: a case study on Copenhagen. *Climatic Change* (2011) 104/1, 113–137.

ÖSSZEFOGLALÁS

ABONYI JÁNOS, CZVETKÓ TÍMEA, SEBESTYÉN VIKTOR:
AZ ADATTUDOMÁNY ESZKÖZTÁRÁNAK ALKALMAZÁSI
LEHETŐSÉGEI A KLÍMAVÁLTOZÁS KIHÍVÁSAINAK
AZONOSÍTÁSÁBAN ÉS KEZELÉSÉBEN

A fenntarthatóság tudományterületének legfontosabb kérdésein végighaladva bemutattuk, hogy a jövőben milyen kutatási és fejlesztési tevékenységekre van szükség ahhoz, hogy a klímaváltozás komplex problémáinak megismerésében és kezelésében az adattudomány eszköztára hatékony segítséget nyújtson.

A jelenleg sikeresnek bizonyult adatalapú alkalmazásokat kulcsszóelemzés segítségével tekintettük át. Elemzésünk szemlétette, hogy a Big Data a klímatudomány egyre szélesebb körben alkalmazott eszköze, ugyanakkor kevés az e technológia előnyeit ténylegesen kiaknázó, igazán átfogó jellegű, integratív elemzés. Tanulmányunkkal szeretnénk felhívni a figyelmet a rendszerek rendszere (SoS) elvére, ugyanis a klímaváltozás mozgatórugói és hatásai csak akkor ismerhetők fel, és a hatásokhoz csak akkor tudunk alkalmazkodni és azoknak ellenállni, ha időben felismerjük és feltárjuk az új kutatási irányzatok közötti szinergiákat.