

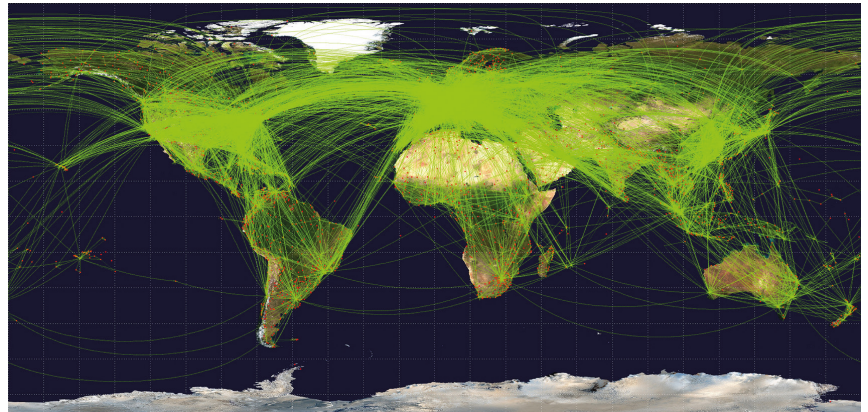
BESENYEI ÁDÁM–BODÓ ÁGNES

Hálózatok, járványok és a változás egyenletei

A komplex hálózatok vagy rendszerek vizsgálata napjaink egyik jelentős és rendkívül aktív kutatási területe a matematikától kezdve az informatikán, szociológián és biológián át a statisztikus fizikáig. Nagy hálózatokkal a minket körülvevő világban lépten-nyomon találkozhatunk, gondoljunk csak az elektromos vezetékek vagy a közúti közlekedés kiterjedt hálózatára, vagy akár az internetre és az emberi agyra, amelyek mind a komplex hálózatok, elmélet és alkalmazás szempontjából egyaránt fontos megjelenési formái (1–3. ábra). Hálózatokon időben változó folyamatokkal, röviden hálózati folyamatokkal modellezhető többek között egy populáción belüli fertőzés, például az influenza terjedésének lefolyása, amelynek során egyedek beteggé válnak és meggyógyulnak. A hírek vagy még inkább híresztelések, álhírek, pletykák terjesztése a manapság oly népszerű közösségi hálókon ugyancsak hálózati folyamatnak tekinthető ugyanúgy, mint amikor neurális hálózatokon egy neuron aktív állapotba kerül. Biológusok, vegyészek, informatikusok, társadalomtudósok mind érdeklődéssel tanulmányozzák e jelenségeket, és hasonló modelleket dolgoznak ki a vírusok, a tudás, a pletyka, a gének és az eszmék terjedésének leírására.

Komplex hálózatok matematikai leírása: a gráfok

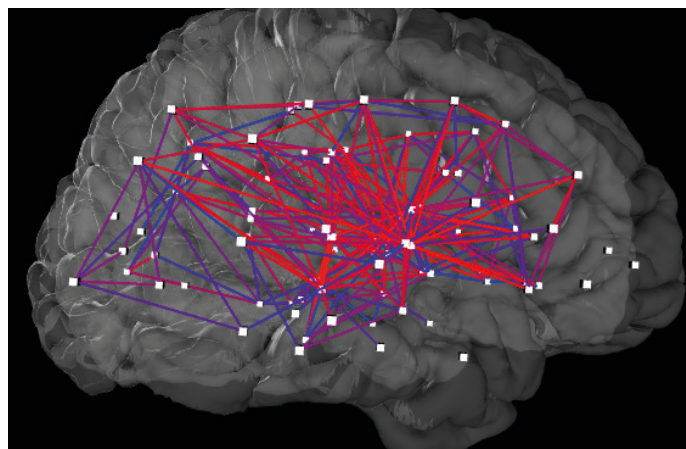
Egy hálózatot – legyen az akár az iménti példák bármelyike – matematikailag egy gráf segítségével írhatunk le, amelynek fogalmával már középiskolai tanulmányaink során is találkozhatunk: egy gráf csúcsokból és azokat összekötő élekből áll. A járványterjedés esetében például a gráf csúcsai a populáció egyedeinek, az egyes embereknek felelnek meg, az élek pedig a közöttük lévő kapcsolatokat jelentik. Két csúcs akkor van összekötve éllel, más szóval akkor szomszédosak, ha a nekik megfelelő két személy ismeri egymást (az ismeretség kölcsönös), vagy a járvány terjedésének szemszögéből nézve valamilyen kapcsolat van közöttük, például minden reggel ugyanazon a buszon utaznak. A gráfok szerkezetének, struktúrájának, mennyiségi és mi-



1. ábra. Repülési útvonalak hálózata. A gráf 3237 csúcsot tartalmaz és 18 000 éle van, ahol a csúcsok a repülőtereknek, az élek pedig a repülési útvonalaknak felelnek meg (Forrás: [10])

nőségi tulajdonságainak vizsgálatával foglalkozik a gráfelmélet, amelynek kialakulásában jelentős szerepet töltek be magyar matematikusok. Az első gráfelméleti könyvet például

gráfelmélet napjainkban továbbra is a magyar matematika egyik kiemelkedő és meghatározó kutatási területe, melyet Lovász László és az általa megteremtett iskola fémjelez.

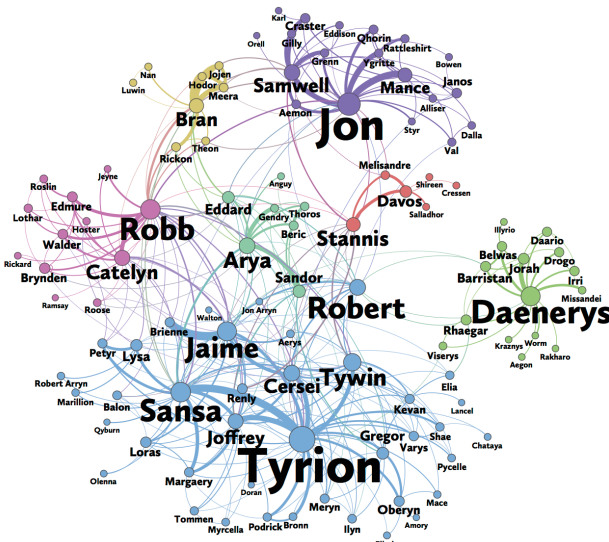


2. ábra. Agyi idegsejtek hálózata. A gráf csúcsai az agyi szűrkeállomány 1015 anatómiai tartományra való felosztásának felelnek meg, két csúcs között akkor van él, ha az MRI kapcsolatot mért közöttük (Forrás: [11])

König Dénes írta 1936-ban, de mindenképpen meg kell említeni Erdős Pált, aki zseniális problémafelvetőként nagyban hozzájárult a matematika ezen ágának fejlődéséhez. A

ti, hogy egy fertőzött emberről idővel (elméletileg) bármely másik emberre továbbterjedhet a betegség. Bizonyos kapcsolatokat ideiglenesen felfüggesztve ter-

A gráfokat számszerűen és minőségileg jellemző tulajdonságok nemcsak az elméleti kutatások, hanem a hálózati alkalmazások szempontjából is kulcsfontosságúak. Ha például egy gráf összefüggő, azaz bármely csúcsból bármely másikba eljuthatunk éleken keresztül, akkor ez a járványterjedés nyelvére lefordítva azt jelen-



3. ábra. A Trónok harca című népszerű sorozat szereplőinek kapcsolati hálója (Forrás: [12])

mészteresen az összefüggőséget megszüntethetjük, így a vírus terjedését is megállíthatjuk. Am magától értetődően nem feltétlenül érdemes mindenkinek feleslegesen bezárkózni az otthonába, ezért például lényeges kérdés, hogy az adott populáció mely csoportjainak kapcsolatát célszerű korlátozni és milyen mértékben.

A gráfok alapvető mennyiségi jellemzője a fokszámeloszlás, amely a különböző fokú csúcsok számát adja meg. Egy csúcs fokszámának a csúcsból kiinduló és beérkező élek számát, ismét a betegségterjedés példáján érzékeltetve, az adott ember ismerőseinek számát nevezzük. Ha valakinek sok ismerőse van, például a kisgyerekek az óvodában, akkor nagyobb eséllyel kapja el a betegséget, mint az otthonukban magányosan élő emberek.

Számos egyéb gráfelméleti tulajdonság vizsgálható emellett, többek között a különböző méretű csoportok, például családok számának eloszlása, valamint a közöttük lévő kapcsolatok, amelyek mind kihatással lehetnek a hálózati folyamatokra.

Valós hálózatok modelljei: a véletlen gráfok

Mivel a valós életben megfigyelt nagy hálózatokat lehetetlen pontosan feltérképezni, gondoljunk csak az internetre csatlakozott számítógépek összességére, ezért célszerű olyan gráfokat bevezetni, amelyek a komplex rendszereket valóságként modellezik. Ezek az úgynevezett véletlen gráfok. Közülük az egyik legismertebb az Erdős Pál és Rényi Alfréd által 1959-ben megalkotott Erdős–Rényi véletlen gráf, amelyben minden

élet adott valószínűséggel, egymástól függetlenül húzunk be. Belátható, hogy a konstrukció eredményeképpen a gráfban a legtöbb csúcs fokszáma közel azonos. Kezdetben az ilyen típusú gráfok jelentek meg az említett különféle jelenségek modellezése kapcsán, azonban kiderült, hogy a valós hálózatok struktúrája ettől eltérő. Így született meg a Barabási Albert-László és Albert Réka által kidolgozott Barabási–Albert-modell, amely már több szempontból jól jellemzi a való életben megjelenő hálózatokat. Ebben a modellben a fokszámeloszlás

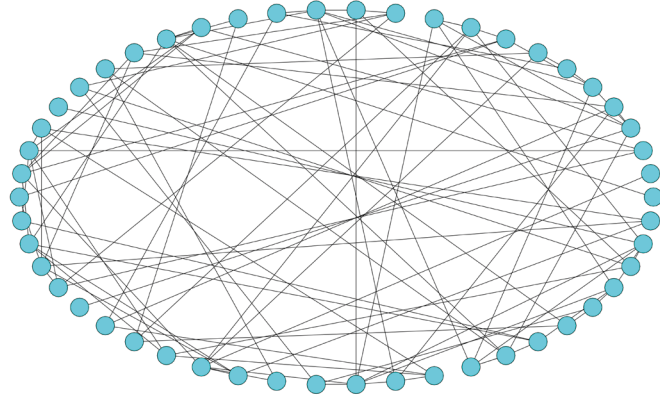
nem egyenletes, hanem negatív kitevőjű hatványfüggvény szerint cseng le. Ez azt jelenti, hogy nagyobb fokszámú csúcsok is találhatóak a gráfban, de ezekből egyre kevesebb van, méghozzá a számuk a fokszám valamely pozitív – általában harmadik – hatványával fordítottan arányos (a fordított arányosságból adódik a negatív kitevő),

addig a második gráf az átlagnál nagyobb és kisebb fokú csúcsokat egyaránt tartalmaz.

A változás egyenletei: a differenciálegyenletek

A gráfokat jellemző mennyiségek segítségével az adott nagy hálózat struktúrájáról, a kapcsolatok rendszeréről kaphatunk képet. Lehet azonban vizsgálni ezen a struktúrán valamilyen időben változó folyamatot is, például egy fertőzés terjedését. A legegyszerűbb modellben a gráf csúcsai kétféle állapotban lehetnek, betegek vagy egészségesek, ami időben változhat, egészségesből fertőzötté válhatnak vagy meggyógyulnak. Tanulmányozhatjuk az állapotok időbeli változását, valamint azt, hogy a betegség a hálózat mekkora részét érinti és mennyi idő múlva szűnik meg. Az ilyen, a hálózatokon időben végbemenő, a csúcsok állapotának változásával járó folyamatokat nevezzük hálózati folyamatoknak. Természetesen a folyamat vizsgálatok a hálózat struktúráját – a gráfelméleti tulajdonságait – is célszerű figyelembe venni, ezáltal két tudományág, a diszkrét és a folytonos matematika összekapcsolódásának lehetünk szemtanúi.

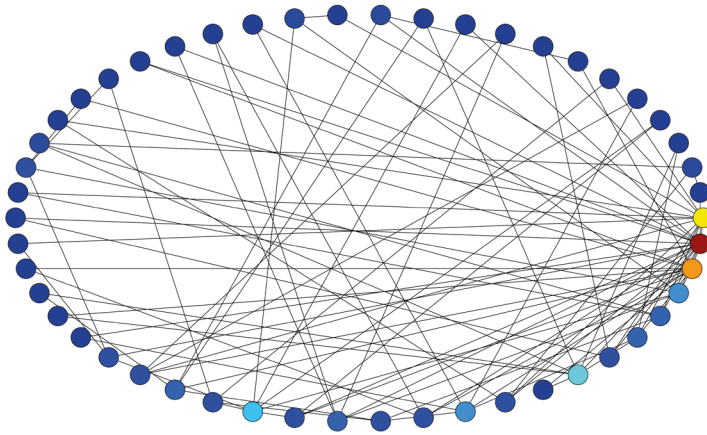
Az időben változó folyamatok leírására szolgálnak az úgynevezett differenciálegyenletek. Bár kissé ijesztően hangzik



4. ábra. 50 csúcsú Erdős–Rényi-gráf

ami a komplex hálózatok egyik jellegzetessége. A Barabási–Albert véletlen gráf fő sajátossága, hogy a létrehozása során a nagyobb fokszámú csúcsok nagyobb valószínűséggel kapnak új éleket. Ennek következtében a gráf néhány pontjának rengeteg éle lesz, míg a többi csúcsnak csupán néhány. A 4. és 5. ábrán egy 50 csúcsú Erdős–Rényi és egy 50 csúcsú Barabási–Albert véletlen gráf látható. Jól megfigyelhető, hogy míg az első gráf fokszámeloszlása közel ál-

a nevük, differenciálegyenlettel már mindenki találkozott a középiskolai fizikaórán is, ugyanis Newton második törvénye, $F=ma$ a legegyszerűbb és legfontosabb differenciálegyenletek egyike. Leírja egy test (gondoljunk például az autópályán haladó gépkocsira) gyorsulását, azaz sebességének változási ütemét a testre ható erők és a test tömegének segítségével. Általában is elmondható, hogy egy differenciálegyenlet az adott, időben végbemenő

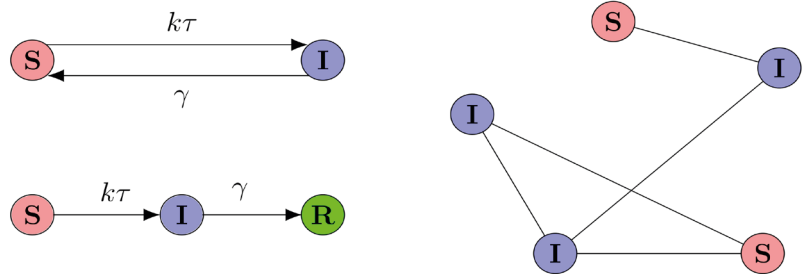


5. ábra. 50 csúcúsú Barabási–Albert-gráf

folyamatot jellemző valamely állapotváltozó (például járványterjedésben lehet ez a betegek száma) változási ütemét írja le különböző természeti törvényeket figyelembe véve. Noha egy állapotváltozó változási üteme matematikailag több előkészület igénylő fogalom, intuitívan ugyanaz, mint amikor a gépkocsi sebességmérő műszerére rápillantva leolvassuk a gépkocsi sebességét, azaz a megtett út változási ütemét. Minél nagyobb a változási ütem, a gépkocsi sebessége, annál gyorsabban növekszik az adott mennyiség, annál gyorsabban tesszük meg a kilométereket. Ha a változási sebesség negatív, akkor az adott állapotváltozó csökken – ekkor tolat az autó, és a sebesség negatív előjelét nem a mérőműszeren látjuk, hanem az ablakon kinézve. Amikor pedig a változási sebesség nulla, akkor az állapotváltozó konstans – az autós példában a sebességmérő nullán áll, tehát egy helyben állunk.

Amennyiben a megtett út változása helyett a sebesség változását tekintjük, akkor a gyorsulásról beszélünk, és éppen erről szól Newton törvénye. Az első differenciálegyenleteket ő írta le a XVII. században a mozgástörvényei kapcsán. Newton egy $x(t)$ időtől függő mennyiség változási ütemére az $\dot{x}(t)$ jelölést vezette be, amely a mai napig használatban van. Az azóta eltelt évszázadokban a differenciálegyenletek a tudomány és mindennapi élet szinte minden területén alkalmazásra lettek, legyen szó az állatok mintázatának kialakulásáról, a kémiai reakciókról, a pénzügyi folyamatokról, vagy az alapvető fizikai törvényekről, amelyek a mindennapi eszközeink, például mobiltelefonok, gépkocsik fékberendezése működése mögött a háttérben észrevétlenül megbújnak. Az alkalmazások sora végeláthatatlan, és folyamatos kutatási kérdéseket vetnek fel az elméleti alkalmazott matematikusok számára egyaránt.

A nagy hálózatok, kiváltképp az ezeken zajló folyamatok vizsgálata is olyan terület, ahol lehetőség van a differenciálegyenletek elméletének segítségül hívására. Kutatásaink során főleg a járványterjedés matematikai modellezésével foglalkoztunk, amely a hálózatok kutatás egy kiterjedten és aktívan vizsgált területe, és különböző tudományágak találkozási pontja is egyben. Fő célunk a különböző típusú hálózatokon meghatározni a fertőző csúcsok számának időbeli változását a paraméterek és a gráf struktúrájának függvényében.



6. ábra. A SIS és a SIR modellben létrejövő átmenetek és egy példa a kapcsolati hálóra

Járványterjedési modellek

Ismerkedjünk meg az egyik legelterjedtebb, az I típusú járványterjedési modellel. Ez olyan fertőzések leírására alkalmas, amelyekben a fertőzésen átesettek nem válnak immunissá a kórokozóval szemben, tehát gyógyulás után újra fertőzhetővé válnak. Ennek megfelelően az egyedek kétféle állapotban lehetnek: egészséges (S – Susceptible), illetve fertőző/fertőzött (I – Infected). Az egyes állapotok kétféleképpen változhatnak: egy I típusú egyed adott valószínűséggel meggyógyul, azaz S típusú egyed lesz; illetve egy I típusú

egyedet az I típusú egyedek megfertőzhetnek, így I típusú egyedé válik. A gyógyulás folyamatáról természetes módon azt feltételezzük, hogy a valószínűsége független az adott csúcs szomszédjainak számától – hiába van sok ismerősünk, attól a gyógyulási folyamat nem lesz gyorsabb –, és ezt az úgynevezett gyógyulási rátával tudjuk jellemezni, ez a γ paraméter. Amikor viszont fertőzés történik, annak valószínűsége nyilván függ a beteg szomszédok számától, hiszen kevés beteg ismerőssel rendelkező egyed kisebb eséllyel kapja el a betegséget. A fertőzést az adott betegséghez tartozó úgynevezett fertőzési rátával szokás jellemezni, amelyet τ jelöl, és ekkor egy k beteg szomszédokkal rendelkező S csúcs fertőzési rátája $k\tau$.

A másik gyakran vizsgált dinamika az SIR típusú járványterjedés, amelyben a fertőzésen átesettek a gyógyulás után immunissá válnak, tehát egy új, gyógyult (R – Recovered) osztályba kerülnek, így az egyedek az S, I, R állapotokban lehetnek és az SIS modellbeli $I \rightarrow S$ átmenetet az $I \rightarrow R$ váltja fel. A 6. ábrán az SIS és SIR típusú járványterjedés állapotai és átmenetei láthatóak, illetve egy egyszerű példa szemlélteti az SIS típusú járványterjedést.

Bár az imént végig járványterjedésről beszéltünk, a híresztelések terjesztése esetében is hasonló módon különböztethetünk meg állapotokat: tájékozatlan, terjesztő és akadályozó. Amennyiben neurális hálózata-

tokról van szó, akkor egy neuron az aktív és inaktív állapotok valamelyikében lehet. Ily módon e folyamatok a betegségterjedés mintájára modellezhetők és vizsgálhatók matematikailag.

Járványterjedés és differenciálegyenletek

A legegyszerűbb járványterjedési modellek esetében azzal a feltevéssel élünk, hogy a populáció nagyjából homogén, ami azt jelenti, hogy többé-kevésbé mindenkinek ugyanannyi ismerőse van. Célszerű

ilyenkor bevezetni a gráf átlagfokszámát, amely az egyedek ismerőseinek átlagos száma, jelölje ezt n . Ekkor a fertőző csúcsok számának változási ütemét az alábbi differenciálegyenlettel írhatjuk le:

$$\dot{I}(t) = \tau \frac{n}{N} S(t)I(t) - \gamma I(t),$$

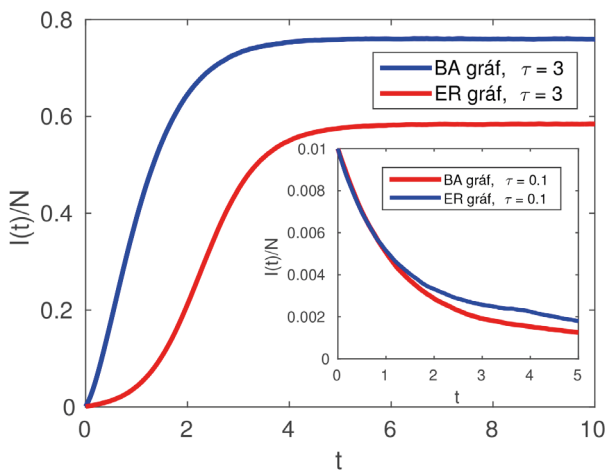
ahol $S(t)$ az egészséges, $I(t)$ a fertőzött és N a populáció összes egyedének számát jelenti. Az egyenlet matematikai vizsgálatával belátható, hogy ha τ értéke nagyobb, mint a

$$\tau_{krit} = \frac{\gamma}{n}$$

kritériumszám, akkor nem szűnik meg a betegség, hanem beáll egy adott fertőzöttségi szintre; míg ha τ kisebb, mint τ_{krit} , akkor a betegség megszűnik. Bevezethető a járványtanban gyakran emlegetett R_0 elemi reprodukciós szám, amely megmutatja, hogy egy fertőző beteg várhatóan hány embert fertőz meg egy védelességgel nem rendelkező népességben. Ha $R_0 > 1$, akkor a betegség elterjedhet, de ha $R_0 < 1$, akkor a betegség idővel biztosan kihal. Esetünkben

$$R_0 = \frac{\tau n}{\gamma}$$

A 7. ábrán ezt a két esetet figyelhetjük meg $N=1000$, $n=2$, $\gamma=1$ paraméterek mellett két különböző τ választásával.



7. ábra. Fertőzött csúcsok arányának kétféle alakulása a betegség elterjedése szempontjából Erdős-Rényi- és Barabási-Albert-gráfok esetén

Egy kissé bonyolultabb modellt kapunk, ha nem tételezzük fel, hogy a populáció homogén eloszlású, azaz különböző fokszámú csúcsok vannak, a k fokú csúcsokból N_k darab. Ha I_k jelöli a k fokú I típusú csúcsok számát, akkor e változókra is felírható az előző modellhez hasonló differenciálegyenlet. A gráf átlagfokszámát az

$$n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^N k N_k$$

képlet adja, a fokszámeloszlás inhomogenitását pedig az n_2-n mennyiség, a szórás négyzete jellemzi, ahol

$$n_2 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^N k^2 N_k.$$

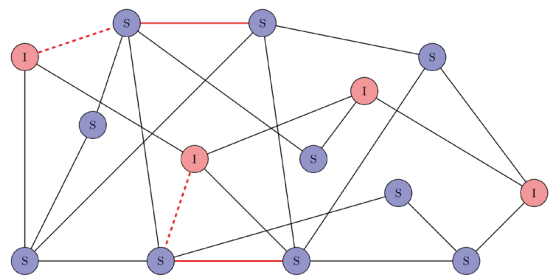
Ekkor levezethető, hogy ha τ nagyobb, mint $\tau_{krit} = \frac{\gamma n_2}{n^2}$,

akkor a betegség nem szűnik meg, beáll egy egyensúlyi helyzetre; míg ha τ kisebb, mint τ_{krit} , akkor a betegség kihal. A hálózat inhomogenitását növelve csökken τ_{krit} értéke, vagyis ugyanaz a betegség egy homogén hálózaton megszűnhet, míg egy heterogén fokszámeloszlású hálózaton elterjed. Az R_0 elemi reprodukciós szám ebben az esetben:

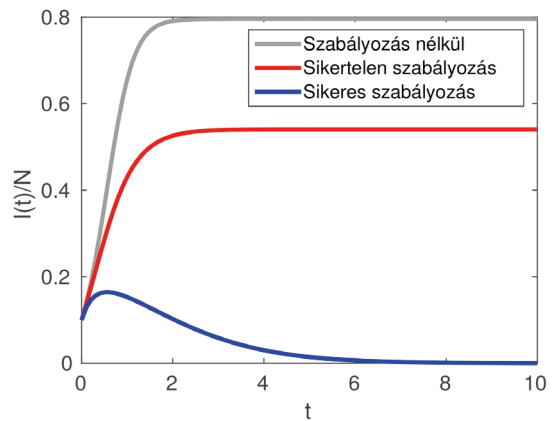
$$R_0 = \frac{\tau n_2}{\gamma n}.$$

Ezek az eredmények mind rámutatnak arra, hogy a gráf egyes paraméterei hogyan jelennek meg a folyamatot leíró differenciálegyenletben, lehetőséget adva a folyamat jellemzésére a gráf struktúrájának segítségével.

és szüntethetők meg a csúcsok állapotától függően. Járványterjedésnél ez például azzal magyarázható, hogy a fertőzött csúcsokkal az egészséges csúcsok igyekeznek megszüntetni kapcsolataikat, és ezzel egyidejűleg új kapcsolatokat hoznak létre (8. ábra). Más típusú hálózati folyamatokban is gyakori ez a jelenség, például neurális hálózatok modellezése során fontos szerepet játszik a gráf időbeli változása. Adaptív hálózatokon hasonlóan modellezhetünk SIS vagy SIR típusú járványterjedést: bevezetve az élek létrehozásának és törlésének valószínűségeit, a fertőző csúcsok számára ugyanúgy felírható egy



8. ábra. Járvány elterjedését megakadályozó mechanizmus: az egészséges egyedek a fertőzött szomszédjaikkal igyekeznek kapcsolataikat megszüntetni (piros szaggatott vonal), továbbá új kapcsolatokat hoznak létre egészséges egyedekkel (piros folytonos vonal)



9. ábra. Fertőzött csúcsok arányának alakulása sikeres és sikertelen szabályozás esetén. Ha az élek megszüntetésének rátája kicsi, akkor nem sikerül megakadályozni a betegség elterjedését, azonban ha elég nagy, akkor sikeres lesz a szabályozás

Kitekintés

A járványterjedési modellünk még összetettebbé válhat, ha a hálózat kapcsolati struktúráját is időben változónak tekintjük, ekkor adaptív hálózatokról beszélünk. Adaptív hálózatokban a gráf maga is megváltozik, azaz élek hozhatók létre

differenciálegyenlet. E folyamatok vizsgálata azért különösen fontos, mert ebben az esetben nemcsak a folyamat megértése a cél, hanem a folyamat irányítása is. Élek, azaz kapcsolatok törlésével és létrehozásával elérhetjük, hogy a betegség ne terjedjen el, vagy éppen, hogy egy eszme, pletyka, reklám szétterjedjen (9. ábra). Azt is meg-

határozhatjuk, hogy mennyi idő után nem érdemes már elkezdni a populáció egyedeinek oltását, mert a betegség terjedését azzal úgysem tudjuk megakadályozni.

Ilyen és hasonló kérdések vizsgálataival foglalkozunk az MTA–ELTE Numerikus Analízis és Nagy Hálózatok kutatócsoport Simon L. Péter által vezetett hálózati folyamatok és differenciálegyenletek alcsoportjában, ahol a matematika különböző területeit érintjük, mint például sztochasztikus folyamatok, differenciálegyenletek, dinamikai rendszerek és gráfelmélet. Ebből próbáltunk a teljesség igénye nélkül egy kis ízelítőt adni, és rávilágítani napjaink egyik széleskörűen vizsgált területének, a hálózatok differenciálegyenletekkel való modellezésének szépségére és hasznosságára.

A téma iránt érdeklődő olvasóknak ajánljuk Barabási Albert-László [1, 2, 3] könyveit, Lovász László Természet Világában megjelent [8] cikkét, a Természet Világa [9] különszámát, valamint a differenciálegyenletek témakörébe kiváló bevezetést nyújtó [7] könyvet. Akiket pedig mélyebben érdekelnek a hálózati folyamatok, azok számára a [4, 5, 6] monográfiák jelenthetnek kiindulópontot. ▶

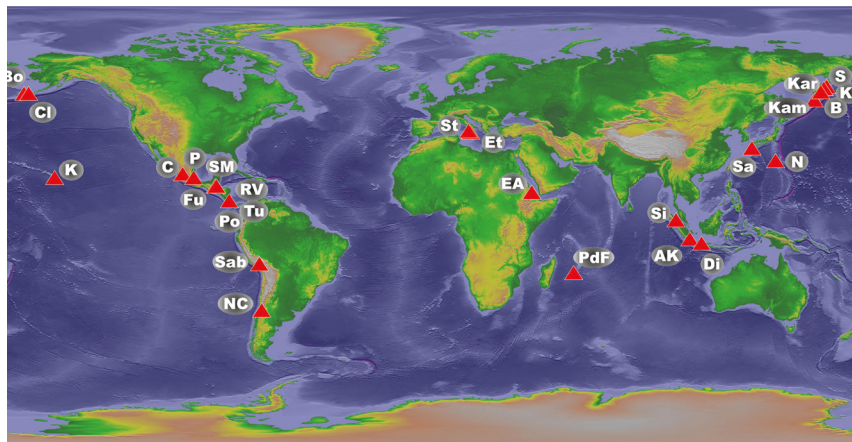
Irodalom

- [1] Barabási Albert-László: *Villanások – a jövő kiszámítható*, Nyitott Könyvműhely, Budapest, 2010.
- [2] Barabási Albert-László: *Behálózva – a hálózatok új tudománya*, Magyar Könyvklub, Budapest, 2003.
- [3] Barabási Albert-László: *A hálózatok tudománya*, Libri Könyvkiadó, Budapest, 2016.
- [4] A. Barrat, M. Barthelemy, A. Vespignani: *Dynamical processes on complex networks*, Cambridge University Press, Cambridge, 2008.
- [5] M. Draief, L. Massoulié: *Epidemics and rumours in complex networks*, Cambridge University Press, Cambridge, 2010.
- [6] István Z. Kiss, Joel C. Miller, Péter L. Simon: *Mathematics of Epidemic Networks*, Springer, 2017.
- [7] Hatvani L., Pintér L.: *Differenciálegyenletes modellek a középiskolában*, Polygon, Szeged, 1997.
- [8] Lovász László: Nagyon nagy gráfok, *Természet Világa*, 138. évf. 3 (2007)
- [9] Hálózatok kutatás, hálózatelmélet, *Természet Világa*, 146. évf. 1. Különszám (2015)
- [10] <http://www.fastcodesign.com/3029315/terminal-velocity/how-a-supervolcano-would-affect-international-flight>
- [11] <http://pitgroup.org/connectome/>
- [12] <https://www.maclester.edu/~abeverid/thrones.html>

HARANGI SZABOLCS

Tűzhányó-hírek

2017. első fele



Térkép a szövegben szereplő vulkánok helyének megjelölésével (Bo – Bogoslof, CL = Cleveland, K – Kilauea, C – Colima, Fu – Fuego, P – Popocatepetl, SM – Santiaguito, Santa Maria, TU – Turrialba, Po – Poás, RV – Rincón de la Vieja, Sab – Sabancaya, NC – Nevados de Chillan, St – Stromboli, Et – Etna, EA – Erta Ale, PdF – Piton de la Fournaise, Si – Sinabung, AK – Anak Krakatau, Di – Dieng, Sa – Sakurajima, N – Nishinoshima, Kam – Kambalnij, Kar – Karimszkij, Kl – Kljucsevszkj, B – Bezimjannij, S – Sivelucs)

2016 tűzhányójának nagy meglepetésre az Aleuti-szigetiv egy piciny vulkánját, a Bogoslofot választották, ami az év végén váratlanul ébredt fel. Akkor ez sokaknak meglepetést okozott, azonban 2017 első fele bebizonyította, hogy a Bogoslof kiérdemelte e címet. Több tucat kitorérese ráirányította a figyelmet még akkor is, ha e vulkáni működésről nem sok felvétel készült. Emellett sem volt unalmas 2017 első fele. A guatemalai Fuego nem fogott vissza a tempóból, folyamatosan vannak lávaszökőkút-kitörései, ami mellett az ismétlődő iszapárak (laharok) jelentenek állandó veszélyt. Az Etna csak egy alkalommal tört ki, mégis az újságok címlapjára került. Voltak szemet gyönyörködtető események is, mint a Colima és a Sakurajima villámlásokkal együtt járó kitorései, vagy a japán Nishinoshima újraelévedése és az Erta Ale lávató túlfolyása, egy új hasadékból kialakult páros lávamezővel. A kitorésekről és háttérinformációkról rendszeres tájékoztatást nyújt a Tűzhányó blog Facebook oldala a több száz csatlakozott olvasónak.

Kilauea, Hawaii, USA

A Nagy-szigeten több helyen is zajlik aktív vulkáni működés: a Kilauea kalderában lévő Halema'uma'u kráter belsejében 2008-ban kialakult beszakadásos kráterben lévő lávató szintje folyamatosan változik. A június végi felvételek a lávató felszínén kialakult lávabőr nagyszerű rajzolatát adták vissza, miközben a peremén lávacafatok freccsentek fel. Ugyancsak aktív, már több mint 34 éve, a Pu'u 'Ō'ō kitoréresi központ is, ahol több ponton buggyan fel az izzó láva, míg a keleti pereméről továbbra is elegendő utánpótlást kap a 61g lávafolyás (a név eredetéről a Tűzhányó-hírek korábbi cikkében írtunk). A kőzetolvadék szintje hülés nélkül jut a mintegy 10 kilométer távolságban lévő Kamokuna partjaihoz és ömlik az óceánba. Mindez továbbra is turisták ezreit vonzza és a nem veszélytelen hajóutakra is befizető látogatók nagy öröme a lávafolyam és a víz találkozása látványos robbanásos jelenséggel zajlik. A friss láva egy jókora lávadeltát (június végén ez 100 méterre nyúlt be az óceánba)