

A rejtett hálózatok ereje

(Hogyan stabilizálják a világot a gyenge kapcsolatok?)

Csermely Péter

*(2004 December
weaklink@puskin.sote.hu
www.weaklinks.sote.hu)*

Copyright © Vince Kiadó, 2004

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés: a szerző (gyenge) kapcsolatai	5
2. A gondolat megszületik: Granovetter és a munkanélküliek	13
3. Miért szeretjük a hálózatokat?	16
3.1. Kisvilágság	19
3.2. Skálafüggetlenség	24
3.3. Egymásbaágyazottság	38
3.4. Gyengekapcsoltság	43
4. Miért jó, ha a hálózat stabil?	46
4.1. Hálózatzavarok: a jó és a rossz zaj	47
4.2. Zavarpasszírozás: relaxáció az élet	52
4.3. Hálózatkatasztrófák	60
4.4. Háléváltozások	64
4.5. Szinkronjaink	69
4.6. Hálózatstabilizálás. Mérnökök vagy barkácsolók?	77
5. A gyenge kapcsolatok stabilizálják a komplex rendszereket	80
5.1. A gyenge kapcsolatok stabilizálják a komplex rendszereket	80
5.2. Gyenge kapcsolatok: egy kezdő definíció	85
5.3. Stabilitás: egy kezdő definíció	87
5.4. Komplex rendszerek	89
5.5. Gyenge kapcsolatok mindenütt	91
6. Atomok, molekulák, makromolekulák	94
6.1. Energiahálózatok	94
6.2. Gyenge kötések a fehérjék és az RNS felépítésében	98
7. A sejteket stabilizáló gyenge kapcsolatok	103
7.1. Stresszfehérjék és más sejtes stabilizátoraink	103
7.2. Amikor a stabilitásunk odalesz: stressz, diverzitás és evolúciós ugrások	112
7.3. Amikor a stabilitásunk odalesz: rák, betegségeink, öregkorunk	119
8. A gyenge kapcsolatok és az élőlények stabilitása	125
8.1. Immunhálózatunk	125
8.2. Transzportálóhálózatok	129
8.3. Izomhálózataink	130
8.4. Gyenge kapcsolatok az ideghálózatokban	133
8.5. Pszichológia hálózati szemmel	136

9. Társadalmi hálózatok	142
9.1. Hangyák, méhek, delfinek és majmok	142
9.2. Miért terméketlenek a nők időskorukban?	145
9.3. A társadalmakat stabilizáló gyenge kapcsolatok	147
9.4. Embercsoportok gyenge kapcsolatai	159
9.5. Pótvakargatásaink	166
10. Kulturális hálózataink	174
10.1. Nyelvünk hálójában	174
10.2. Regény-, színdarab- és filmhálózatok	179
10.3. Térhálózataink	185
10.4. Programhálózatok	192
10.5. Mérnökök és barkácsolók: egy új szintézis felé	194
11. Globális hálózataink	196
11.1. Gazdasági világhálónk	196
11.2. Háléváltozások a történelem fordulópontjain	200
11.3. Gyenge kapcsolatok + bizalom → társadalmi jólét	208
12. Az élővilág egysége	214
12.1. Életközösségeink stabilitása	214
12.2. Azok a csodálatos mindenevők...	218
12.3. Gaia és a gyenge kapcsolatok	220
13. Következtetések és zárszó	226
13.1. A gyenge kapcsolatok csodálatos ereje	226
13.2. Visszatérés a definíciókhoz: szintézis	232
13.3. A gyenge kapcsolatok határain túl	251
13.4. Gyengeségünk ereje	254
14. Függelék	
14.1. Magyar nyelvű ajánlott olvasmányok	259
14.2. Irodalmi hivatkozások	260
14.3. Hasznos web-oldalak	284
14.4. Fogalomtár: a szakkifejezések magyarázata	286
14.5. Érdekes történetek jegyzéke	292
14.6. Kiegészítő információk jegyzéke	295
14.7. Kérdések jegyzéke	296
14.8. Ábrák jegyzéke	297
14.9. Táblázatok jegyzéke	297
14.10. Tárgymutató	298

„Mert az én erőm erőtlenség által végeztetik el.”
(Pál apostol 2. levele a Korinthusbeliekhez 12, 9)

1. Bevezetés: A szerző (gyenge) kapcsolatai

Amikor Magyarországon kikiáltották a köztársaságot, én egy kontinenssel odébb egy fekete pöttyöt nézegettem. Nézegettem reggel, nézegettem este, már álmomban is nézegettem, de a sok nézegetéstől bizony nem lettem okosabb. A röntgenfilmemet összerondító, gyanús és érthetetlen fekete pötty egy stresszfehérje volt.

Tizenöt év folyamatos nekigyürközései után ma már többet tudok a stresszfehérjéről. Tudom, hogy a többi fehérjét tekergetik, tudom, hogy ők alkotják sejteink legősibb védekező rendszerét. Ha bármelyik fehérje félrecsavarodott, alaktalan torzszülöttként jön a napvilágra: a stresszfehérjék azon nyomban kitekerik, és egy új esélyt adnak neki, hogy az újratekeredés során a helyes formájába huppanjon vissza. Ha bármi baj ér bennünket, ennek akár jó adag kisüsti, akár a kisüstit kiváltó szerelmi bánat a neve: a stresszfehérjék ugyanígy segítenek. Stresszfehérjék nélkül a sejtet előttené az egymáshoz szíre-szóra hozzáragadó, alaktalan fehérjemocok. Stresszfehérjék kellenek a fehérjék transzportjához, lebontásához és szinte mindenhez, ami mozog a sejten belül (Csermely, 2001a). Stresszfehérjék nélkül nincs földi élet, a stresszfehérjék a sejteket alkotó minimális génekészlet pótolhatatlan részei (Koonin és Galperin, 2002).

Mindez nagyon szép. A stresszfehérje igazán altruista nép. Imádnivaló, kedves csapat, tele jóakarattal. A stresszfehérje ahol tud, segít! De hogyan? Mikor, mivel, mit és hogyan teker? Ezekre a kérdésekre szerettem volna válaszolni, miután a fekete pötty a területre kergetett. Az első öt évben kipróbáltam a stresszfehérjéken szinte mindent, amit egy biokémikus szokott. Kiemeltem őket a megszokott helyükről, a sejtből. Elkülönítettem, szétvágtam, megfőztem, mindenféle savba, lúgba és radioaktív kotyvalékba áztattam őket. Öt évig tartott, amíg rájöttem, hogy a stresszfehérjék nem olyanok, mint a társaik. Utálatosak. Csúnyák. A biokémikus rémálmai. A stresszfehérjék nemcsak tekernek, hanem ragadnak is. *Kicsit* ragadnak. Mindenhez egyformán kicsit ragadnak. A funkció felől közelítve a stresszfehérjék nemcsak dolgoznak, hanem fusiznak is. *Kétszáz* mellékállásban fusiznak. Mindenhez értenek – és semmihez sem. Ember legyen a talpán, aki rajtuk kiigazodik.

A stresszfehérjék titka a kölcsönhatásaikban rejlik. A stresszfehérjék – ugyanúgy, mint ahogy a funkciójukra utaló chaperon elnevezés egykori keresztanyjai a hajdan volt bálokon – sose maradnak ott sehol. Feltűnnek itt is, feltűnnek ott is és megakadályozzák a tervezetlen összeragadásokat: pontosan úgy, mint ahogy a chaperonok (gardedámok) tűntek fel épp a legrosszabb pillanatban az elsőbálozó leányka mellett, és védték meg a

leány örömmel veszni induló erkölceit. Ezek a stresszfehérje-nénikék mindenkit ismernek, mindenkinek segítenek, de nem tartoznak igazán sehova. Gyenge kapcsolatban állnak az egész sejttel. 1989-ben egy fekete pöttyöt kergetve egy jól meghatározott kérdést tettem fel. Öt évvel később a válasz helyett egy zavarba ejtően gazdag világra találtam.

1998-ban jelent meg a Nature-ben *Suzanne Rutherford* és *Susan Lindquist* új távlatokat nyitó cikke. A cikk egymondatos lényege az volt, hogy a stresszfehérjék stabilizálják a gyümölcslegyek alakját. Ha működnek a stresszfehérjék: minden új gyümölcslegy egyforma lesz. Mindegyikük kis, egyformán piros szemekkel bámulja a szép új világot, hat cingár lábön egyensúlyozik és a két szárnya is egyformán zizeg. Ha viszont gátolom, vagy bármilyen más módon leterhelem, kikapcsolom a stresszfehérjéket: megbolondulnak a frissen kikelt gyümölcslegyek. Azért nem mind. Többségük (kb. tízezer) még mindig ugyanúgy bámul, egyensúlyozik és zizeg. De jó páran (Rutherford kísérletében egészen pontosan 174-en) iszonyatos torzszülöttek lesznek. Befele nő a szemük, lemarad a szárnyuk, lábuk, esetleg mindez összekeveredik. A szemük egyensúlyozik, a lábuk zizeg, és a szárnyukkal merednek a világba. A Lech-mezei csata orratlan-fületlen, néma és vak gyászmagyarjai hozzájuk képest daliák. Ráadásul szinte minden torzszülött *máshogy* az. Sőt. Még az utódai is olyanok maradnak. Ez olyan, mintha ma is meg tudnánk mondani, kinek volt az ötvenedik őse Lech-mezei gyászmagyar. A további kísérletek igazolták, hogy a stresszfehérjék kikapcsolásával egy genetikailag kódolt, de addig rejtve maradt sokszínűség tört elő.

Álljon meg a fáklyásmenet! Ha egy fehérje kapcsolatban áll egy egész sejttel, már az is meghaladja a szokványos molekulakutató¹ kockafejét. Ráadásul a stresszfehérjék képesek elrejtetni, helyrehozni a gyümölcslegyek torzszülötteit? Mi van itt? Egy egész gyümölcslegyet csak nem teker helyre egy törpe fehérje? Még ha ragad, ha *kicsit* ragad, akkor se.

“Régi”, szép idők... A magamfajta biokémikus népek által közösen elfogadott magyarázat igen egyszerű volt. A stresszfehérje azoknak a fehérjéknek a helyreterelésében segítkezik, amelyeknek a DNS-e itt-ott-amott mutációkat szedett össze a gyümölcslegy dédpapák és dédmamák ivarsejtjeiben. A torz fehérjék fontos jelátviteli utak részesei, és ha nem javítják ki őket a stresszfehérjék, a gyümölcslegy embrió nem becsületes légy-polgárrá, hanem kicsi Frankensteiné cseperedik. 2003-ra azonban összekavarodott a világ. Kiderült, hogy a szörnyszülöttek kialakulásától a gyümölcslegyet (és a többi fűt-fát-virágot, mindent, ami él és mozog baktériumtól felfelé) elképesztően sok fehérje védelmezi (Aranda-Anzaldo és Dent, 2003; Bergman és Siegal, 2003; Gibson és Wagner, 2000; Scharloo, 1991; True és Lindquist, 2000). Uram-anyám. A kutató mindig azt hiszi, hogy érdeklődésének törpe tárgya beborítja az egész világot. Node azért legyünk észnél. *Ennyi* stresszfehérje nincs! Mi lehet ebben a rengeteg fehérjében akkor a közös?

¹A szöveget néha lábjegyzetek szakítják majd meg. A lábjegyzetekbe számúztam azokat a megjegyzéseket, amelyek fontosak, de amelyek a fő szövegben megtörték volna annak gondolatmenetét. Az első lábjegyzet a kutatóról szól. A könyvben végig tartottam magam Selye János figyelmeztetéséhez: a tudós megjelölés csak azoknak a kutatóknak jár ki, akiknek a művét már az utókor is igazolta, és érvényesnek fogadta el.

Azt hiszem, szerencsés vagyok. Amikor az ember az érthetlennel találkozik, egy mindenre örömmel rácsodálkozó gyermeki agy szükségeltetik. Vannak rendkívüli emberek, akik képesek erre, még nyolcvanévesen is. Mások meg szerencsések, mert maguk mellett tudhatnak olyanokat, akik a gondolataik megposhadását nem engedik. 1996-ban egy olyan kezdeményezésbe fogtam bele, amely tehetséges középiskolásoknak ad kutatási lehetőségeket (<http://www.kutdiak.hu>). Ez a mozgalom rengeteg diák életét változtatta meg. Megváltoztatta az én életemet is. A laboratóriumomban dolgozó diákok segítettek abban, hogy minden nap új, friss szemmel nézzek a világra. E diákok alkotják a LINK-(kapcsolat)-csoportot (www.weaklink.sote.hu), és ők segítettek a rejtélyt megoldani.

Mi is a rejtély? Szinte biztos, hogy ott lapul a kis szörny jónéhányunk DNS-ében, de szerencsére mégsem látjuk, mert fehérjék egész armadája rejtegeti. Hogyan képes rengeteg különféle fehérje egyformán elrejtetni a legkülönbözőbb élőlények szörnyszülőit? A válasz megtalálásában talán segít, hogy volt a Rutherford-Lindquist kísérletnek (1998) egy eddig nem említett, fontos gondolata. A gyümölcslegyek sokféleségét a stressz is ki tudta váltani. Ez a megfigyelés nem is volt annyira új. A stressz hatására előtörő, örökölhető morfológiai sokszínűséget már ötven évvel korábban Schmalhausen és Waddington részletesen leírták (Schmalhausen, 1949; Waddington, 1942; 1953; 1959). 1998-ban nem is fordítottam erre sok figyelmet, annyira kézenfekvő volt a gondolat. A stressz tönkreteszi a fehérjéket, és azok hozzáragadnak a stresszfehérjékhez. Ugyanolyan gátló hatás ez, mintha bármilyen más módszerrel elrontanám a stresszfehérjéket. A stressz nemcsak elront, hanem sokféleséget is okoz. A tökéletes, az optimális egyforma. A sokszínűség a hibában érhető tetten.

Idáig jutottam, amikor 2003 májusában a kezembe került egy másik Nature-beli cikk (Rao és mtsai, 2002). Rögtön a cikk elején óriási táblázat foglalta össze azt a rengeteg jelenséget, amelyben a stressz hatására az élőlények viselkedése mind-mind az egyformából – sokféle lesz. Elkerekedett a szemem, és valami borzasztóan gyönyörű érzés öntött el. Atyaisten. A stresszfehérjék tehát *mindent* stabilizálnak, amit egy élőlény produkál? *Mindegy*, hogy mozog, osztódik, specializálódik, vagy éppen jelet fogad? Ha van stresszfehérje, akkor mindezt egyformán teszi, ha meg nincs stresszfehérje, akkor meg mindenféle furcsaságok törnek elő?

Hohó. Szedjük össze magunkat. Ül le Micimackó, és böködd a fejed: “Gondolj! Gondolj! Gondolj!” Ez kezd *nagyon* megfoghatatlan lenni. Van tehát egy nagycsomó fehérjénk, amiben az a közös, hogy az élőlények viselkedésének a legmegdöbbentőbb eseteit egyformán stabilizálják. Hogyan? Miért? Jaj. Ilyenkor megy az ember szabadságra, vagy kérdezi meg a legjobb barátait. Képtelen lettem volna szabadságra menni... Inkább kérdezni kezdtem. Lelki szemeim előtt megjelenik kollégáim elnéző mosolya az email-jeim fölött. Ez a Péter már megint egy kicsit becsavarodott... Mégis. Vicsek Tamás barátom visszaírt. „Péter, olvasd el Barabási Lászlótól a 'Behálózva' (2003) című könyvet. Most jelent meg magyarul.” Kezembe került Stuart Kauffman-tól az “Investigations” (2000) is. Ahogy olvastam őket, a hideg futkosott a hátamon. Atyaisten. Ezek a leírhatatlanul bonyolult rendszerek valahol *elképesztően* egyformák. Mind-mind hálózatok. Az élő sejt, az állat ugyanúgy épül fel, mint a programrendszer, a társadalom, a majomcsorda, vagy az energiaszintek az atomokban. Ráadásul ezeket a hálózatokat mind egyformán stabilizálja valami? A stresszfehérje, ugye?! A

majomcsordában, vagy az energiaszintekben... Na persze. Ha baj van a társadalommal, nekiállunk és betekergetjük embertársainkat... Nem a fehérje itt a lényeg, mester! Ezek a fehérjék valami olyanban közösek, amit ugyanígy megtalálsz a programozásban, vagy a társadalomban is. Mi lehet a közös? Mi? A megoldás ott volt az orrom előtt.

Kezdjünk bele újból. Fogalmazzunk máshogy. A stresszfehérjék stabilizálják a sejt hálózatát, amelynek részét képezik. A stresszfehérjék rengeteg más fehérjével állnak kapcsolatban. A hálózatokban az ilyeneket csomópontnak (az angolszász irodalomban hub-nak) nevezik. A csomópontok stabilizálják a hálózatokat? Nem kifejezetten. A csomópontok szükségesek a hálózatok felépítéséhez, kiemelésükkel a hálózat egy idő után szétesik (Albert és mtsai, 2000). A hálózat által jelképezett komplex rendszer ilyenkor szétzilálódik, megszűnik, meghal. Ha a stresszfehérjéket gátolom, a stabilitás hiánya nehéz helyzetet teremt, de még nem maga a halál. Valami más stresszfehérje tulajdonság itt a ludas.

Mi lehet ez? A kötődésük! Hát persze! A stresszfehérjék mindenhez ragadnak de csak kicsit. Azaz: a hálózatot azok az elemei stabilizálják, amelyek egymással gyenge kapcsolatban állnak. Nem az elem, nem is a kölcsönhatásainak a száma, hanem a kölcsönhatások erőssége a fontos. Tizenöt évnyi szenvedés a mindig más arcukat mutató, gyengén ható stresszfehérjékkal nem volt hiábavaló: 2003 végére a könyv alapötlete megszületett: „A gyenge kapcsolatok stabilizálják a komplex rendszereket.” A gyenge kapcsolatok alkotják azokat a rejtett hálózatokat, amelyek stabilizáló erejéről szól ez a könyv.

Amikor az embernek egy igazán szép gondolata van, két ördög ered a nyomába szinte azonnal. Az egyiknek az arca haragos és ezt kiabálja folyton: „Marhaság! Marhaság!” A másik csak kárörvendő pofát vág, és leereszkedően megjegyzi: „Ismert ez már régóta! Sőt! Nemcsak ismert, hanem még annál is több: nyilvánvaló!” Ilyenkor az ember olvasni kezd. Én fél éven át kétezer cikket és negyven könyvet olvastam el. Az 500 megabyte-nyi anyag kinyomtatott része háromméteres kupacot alkotott... Olvasmányaim közben óriási meglepetések vártak:

- kiderült, hogy minden tudományterület más és más szavakat használ ugyanannak a fogalomnak a leírására (a könyv végén, a 14.3. fejezetben, a Fogalomtárban egy szómagyarozatot mellékelek, hogy legalább az Olvasó értsen egyet magával, ha már mi, kutatók erre sokszor képtelenek vagyunk);
- hideglelős perc volt, amikor a LINK-csoporttal először értünk el oda, hogy elkezdtünk egymásnak valamit mondani, és... tátoztunk csupán. Amit meg akartunk fogalmazni, arra nem volt még szó... Olyan területre értünk, ahol még nem járt senki. Olyat akartunk megfogalmazni, amire még a nyelvi szerkezet sem született meg. (Azt hiszem, itt meg kell, hogy nyugtassam az Olvasót: nincs ez a könyv druidának látszó, érthetetlen szavakkal tele. Ahogy tovább gondolkodtunk, mindig találtunk egy egerutat, ahogy a nem létező fogalom a létező szavakkal előhívható. Jópofa volt sámánnak érezni magunk. A sötétből egy nem-volt fogalmat huncibálni elő, és a Nap csodálatos fényénél Nevet adni neki. Vagy a könyv tárgyához illőbb fogalommal: betenni a tudás hálózatának adott helyére: “Kisszellem leül! Jól viseli magát! Itt marad!”)

- Az olvasmányaim óriási tiszteletet ébresztettek bennem társadalomkutató kollégáim iránt. A magamfajta dögész mindig hajlamos a bölcsészt álmodozónak tartani. Rá kellett jöjjek, hogy a hálózatok tudományában a bölcsész évtizedekkel a dögész előtt halad. Jacob Moreno akkor kezdte el a baráti körök tudományos feltérképezését, Alfred Lotka akkor közölte a tudományos produktivitásról szóló híres törvényét, amikor édesapám 1926-ban megszületett. Anatol Rapoport akkor vonta le a baráti hálózatok felépítésének általános szabályait, amikor engem 1957-ben a szüleim éppen kigondoltak.

Kiderült, hogy a gyenge kapcsolatok stabilizáló ereje a társadalomtudományokban évtizedek óta ismert (Granovetter, 1973). 1998-ban sikerült bebizonyítani ugyanezt az ökológiai rendszerek esetén (Berlow, 1999; McCann és mtsai, 1998). A gondolat szép lassan megerősödött. Azok az alkotóelemek, amelyek a világ legkülönbözőbb rendszereit stabilizálják: mind, egytől egyig gyenge kapcsolatban állnak az összes többivel. Nem az számít ők milyenek. Lehetnek stresszfehérjék, lehetnek távoli barátok, lehetnek kiöregedett nősténymajmok, akik körbevakargatják az egész majomcsordát. Mindegy. A gyenge kapcsolat a lényeg. Érdekes, hogy jónéhány szerző (mint pl. Mark Buchanan a Nexus című könyvében, 2002) levonta már ugyanezt a következtetést („a gyenge kapcsolatok stabilizálják a komplex rendszereket”), de csak egy tudományterületen belül. Senki nem vette a bátorságot, hogy a kijelentést általánosítsa. Úgy tűnik, a stresszfehérjék gyenge kapcsolatai egy fontos összefüggésre mutattak rá.

A könyv az alábbi fejezetekre oszlik: a második fejezetben a gyenge kapcsolatok stabilizáló szerepének egy elképesztően korai és merész példáját, az 1973-ban közölt Granovetter vizsgálatot fogom ismertetni. A harmadik és negyedik fejezet a hálózatok felépítésével és stabilizálásával foglalkozik. Az ötödik fejezet fogalmazza meg a könyv alaptételét (a gyenge kapcsolatok stabilizálják a komplex rendszereket). A hatodiktól a tizennegyedik fejezetig pedig példák gyönyörű sorát hozom arra, hogy hol bizonyították már be és hol lehet feltételezni, hogy a gyenge kapcsolatok stabilizálják a világ rendszereit bennünk és körülöttünk a makromolekuláktól a Föld egészéig. Végezetül, az utolsó fejezet az alapvető megállapítás pontosabb megfogalmazásával és néhány igen merész kiterjesztésével zárja be a könyvet. Azok a humán- vagy társadalomtudományokat kedvelő Olvasók, akik nem szeretik a molekulák világát, nyugodtan átlapozhatják a könyv első fejezeteit, és a 8. vagy 9. fejezetnél kezdenek el az olvasást. (A könyv – ravasz módon – úgyis rá fogja őket is venni arra, hogy visszamenőleg olvassák át az előző fejezeteket...)

Amikor a könyv első vázlatát 2004 januárjában befejeztem, rájöttem, hogy egy hiánypótló munkát végeztem el. Ahogy Mark Newman egy 2003-ban megjelent összefoglalójában megfogalmazta: “A hálózatok szerkezetének a működésükre gyakorolt hatásait még nagyon kevéssé tártuk fel” (Newman, 2003b). A könyv írása közben nagyszerű és gyönyörködtetően merész gondolatokat ébresztő játék volt, ahogy a hálózatok általános szabályai mentén az egyik rendszerben megismert törvényszerűségeket a többire alkalmazta az ember. Ugyanakkor tisztában vagyok azzal, hogy az analógiák világa nemcsak vonzó, hanem igen veszélyes világ is. Emiatt a még be nem bizonyított elképzeléseket a túloidali bekezdésekhez hasonlóan mindig külön jelezni fogom.



Vigyázat! Feltételezés! Ahogy az Olvasó egyre előrébb halad a könyvben, a tudomány mai állásának ismertetése mellett egyre-másra vad ötletek törnek majd elő. Vigyázz! A szerző álmodik. A korrektség érdekében ezeket a részeket (Rodolfo és Koch Sándor – 1999 – után szabadon: „Csak a kezem nézzék, vigyázat, csalok!”) a bal oldali kis emberkével (vidorka) jelöltem. Néha vidorkából egynél több is látható. Egy vidorka azt jelenti, hogy nincs elég bizonyítékom arra, hogy az ott leírtak egyértelműen igazak. Két vidorka azt jelzi, hogy bár a leírtak logikusnak látszanak, szinte semmilyen bizonyíték nem támasztja alá őket. Három vidorka? Három vidorka esetén kérem, óvatosan tessenek olvasni tovább. Nem árt a telefont kéznél tartani, ha esetleg dühroham fogja el az Olvasót, vagy szívgörcse lesz, esetleg netán a rohamkocsit az én lakásom fele kívánja irányítani, hogy valami zártabb osztályra cipeltessen el. A háromvidorkás részek álmok csupán. Miért írtam le őket? Mert ezek a legszebb álmaim. A vidorkás részek tehát igen fontos dolgokat mesélnek el, de nem biztos, hogy holnap is igazak lesznek.



Kiegészítések. Azok a részek, amelyek mellett a mellékelt okoska található (fején az elmaradhatatlan könyvvel, amelynek tartalma lassan, de biztosan szívárogoz belé) olyan részleteket tartalmaznak, amelyek biztosan igazak maradnak holnap is. Ugyanakkor ezek a részletek nem biztos, hogy érdekesek minden Olvasó számára (no persze nagy kérdés, hogy a többi részlet mennyire az...). Érdemes tehát az okoskás bekezdésekbe belekezdni, aztán ha tényleg nem érdekesek, gyorsan ugorni tovább.



Fontos kérdések. Egy új területre tévedve mindig több a kérdés, mint a válasz. (Helyesbíték: egy jó kutató esetén *mindig* több a kérdés, mint a válasz.) Miért tartjuk ezeket magunkban? Leírtuk. A fontosabbakat kiemelve, külön. Ha az Olvasónak a kérdésekre bármilyen jó válasza van, kérem, küldje el nekünk, sőt, akár csatlakozzon a LINK-csoporthoz! Ha kérdése van, annak még inkább örülünk. Keressen meg minket a fejezet végén található címek egyikén.



Kekecke. Néha a szöveget egy furcsán szedett rész szakítja meg “*Még, hogy furcsán szedett rész!* Életemben nem láttam még rondább fontot ennél. Áruháza el Péter, meddig kerested, amíg sikerült rábukkannod? Már az is elborzasztott, hogy a legérdekesebb részeket a könyvben nagyítóval kell majd olvasni. De ez a font...” Kekecke! Örülök, hogy itt vagy! Bemutatom Kekeckét: ő az én legjobb barátom. Ha könyvet kezdesz írni, a legjobb barátod a legkritikusabb ember a környezetemben. Mérheteretlenül nagy öröm a számomra, hogy a diákjaim között jónak ilyen akad. Kekecke azonban túlzott mindegyiken. Okos, lobbanékony és még a kakán is csomót keres. (Jaj, lemaradt a vessző! Elnézést kérek, Kekec uram. Válaszolni is majdnem elfelejtettem: a megjegyzések ezért vannak kicsi betűkkel szedve, hogy kisebb legyen a lelkiismeret furdalás, ha valaki átugorja őket. A téged jellemző font Kekec egy kicsit excentrikus – mint a legtöbb tehetséges ember – és egy kicsit befejezetlen is – mint a legtöbb diák és a legtöbb jó kutató.)

Néhány mondat az utóbbi bekezdésekben többes szám első személyben íródott. Mi ütött a szerzőbe? Eszébe jutott egy apró ötlet és ettől királynak képzelet magát? Fejedelmi “Mi”? Nem. A “mi” a LINK-csoport tagjait jelöli. A LINK-ek nem egy helyen dolgoznak. Szét vannak szórva itt-ott-amott. Csak a gyenge kapcsolatok szeretetének (gyenge) kölcsönhatásai kötik őket össze. A LINK-ek hosszú beszélgetéseken, végeláthatatlan email-eken, kis cetlikén vagy SMS-ekben írták

megjegyzéseiket, kérdéseiket nekem. Javították a szöveg pongyola mondatait, és megpróbálták a könyvet érthetőbbé tenni. Reméljük legalább valamekkora sikerrel. Néhány a LINK-ek közül:



Csermely Péter az Eötvös Loránd Tudomány Egyetem Apáczai Csere János Gimnáziumában érettségizett 1976-ban. Második lett a kémia országos középiskolai tanulmányi versenyen és a VIII. kémiai diákolimpián. Jelenleg a Semmelweis Egyetem biokémia professzora. Hat könyve és csaknem kétszáz tudományos közleménye jelent meg. 2003-ban a European Molecular Biology Organization (EMBO), 2004-ben pedig a magyar tudományos újságírók, valamint az Európai Unió tudományos kommunikációs díját nyerte el.



Kovács István a Berze Nagy János Gimnáziumban érettségizett 2003-ban. Több mint egy tucat országos versenyen ért el kiemelkedő eredményeket matematikából és fizikából. Jelenleg az Eötvös Loránd Tudomány Egyetem fizikus hallgatója. Első tudományos közleménye 19 éves korában jelent meg.



Papp Balázs a Debreceni Egyetem Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziumában érettségizett 1996-ban. A debreceni egyetemen kapott biológus diplomát. A doktori fokozatát genetikából szerezte meg az Eötvös Loránd Tudományegyetemen. Jelenleg a University of Manchester posztdoktori ösztöndíjasa. Három cikke jelent meg a Nature-ben, számos díjat, többek között Pro Scientia díjat és egy Marie Curie ösztöndíjat nyert el.



Pál Csaba az egeri Dobó István Gimnáziumban érettségizett 1993-ban. A diplomáját és a doktori fokozatát az Eötvös Loránd Tudomány Egyetemen szerezte meg. Jelenleg a Magyar Tudományos Akadémia Elméleti Biológiai Kutatócsoportjának a tagja. Három cikke jelent meg a Nature-ben, és egy-egy további közleménye van a Science, a Nature Genetics és a Nature Reviews in Genetics lapokban. Eddig hat cikket közölt az ugyancsak neves Trends... újságokban. A Royal Society ösztöndíját nyerte el.



Szalay Máté a veszprémi Lovassy László Gimnáziumban érettségizett 2003-ban. Társával, Palotai Robinnal ő volt a 2003-as ifjúsági Bolyai Díj nyertese. 2003 és 2005 között a Kutató Diákok Országos Szövetségének (www.kutdiak.hu) elnöke volt. Jelenleg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem informatika szakos hallgatója.

A multidiszciplinaritás életveszélyes lehet. Az ember azt hiszi, hogy megértett valamit, és kellő háttértudás híján a legelemibb hibákat véti rögtön a mondandója legelején. A gyenge kapcsolatok gyenge érvekkel nem védhetők. Mérhetetlen hálával tartozom azoknak a kiváló kutatóknak, kedves barátaimnak, akik vették a fáradságot, hogy a könyvemben néhány hibát kijavítsanak. Luigi Agnati, Barabási László, Becskei Attila, Eric L. Berlow, Gustav Born, Borsodi Zoltán, Geoffrey Burnstock, Buzsáki György, Csányi Vilmos, Ken Dill, Gerald M. Edelman, Falus András, Gaál Viktor, Gulyás Balázs, Herskovits Mária, Iványi-Nagy Roland, Jékely Gáspár, Jordán Ferenc, Susan Lindquist, Kopp Mária, Steve LeComber, Leon Lederman, Mérő László, Müller Viktor, Zoltán N. Oltvai, Ormos Kleopátra, Pató Bálint, Pléh Csaba, Ricard V. Solé, Söti Csaba, Steták Attila, Steven H. Strogatz, Szabó András, Száraz Péter, Szegvári Gábor, Vértes Attila, Vicsek Tamás, Denise Wolf és Peter Wolynes bátorítása és segítsége nagyon sokat jelentett nekem.

Vicsek Tamás pártfogó bátorítása, Szabó Csilla, a könyvtárosunk és Kapitány Katalin, a szerkesztő segítsége nélkül ez a könyv nem születhetett volna meg. Hálás köszönettel tartozom családom tagjainak és kollégáimnak azért, hogy a könyvírás nehéz hónapjaiban megértették rigolyáimat. Végül, de nem utolsó sorban hadd mutassam be Szűcs Éduát, akinek nagy hálával tartozom a könyv gyönyörű illusztrációiért.



Szűcs Édua a szegedi Radnóti Miklós Gimnáziumban érettségizett 1977-ben, diplomáját a Szegedi Tudományegyetemen szerezte meg. 1986 óta önálló grafikusművész. Eddig több mint harminc kiállítása volt Magyarországon és külföldön. Művei: Édua karikatúrák (1997), Édua karikatúrák 2. (2001) és sok könyv szakavatott illusztrációja. Díjak: Szféra Különdíj (1996, 1999); Karikatórium különdíj (1997); a Magyar Kultúráért Alapítvány díja (1998); Nők az Európai Unióért: első díj (2003).

A bevezetés végén hadd ismételjem meg korábbi meghívásomat. Várom a kedves Olvasó kérdéseit, bátorító, vagy elmarasztaló megjegyzéseit. A LINK-csoportot az aláírásom alatt megtalálható címeken lehet elérni.

Budapest, 2004 december

(Csermely Péter)

weaklink@puskin.sote.hu

www.weaklinks.sote.hu