

Függelék

F1. Az információ statisztikai szemlélete

F1.1 A Shannon-féle információelmélet

Claude E. Shannon (1916–2001) adott elsőként matematikai definíciót az információ fogalmára 1948-ban megjelent „A mathematical theory of communication” [S7] című híres művében. Az információ általa bevezetett mértéke, amely „bit” (**binary digit**) egységekben adható meg, azzal az előnyvel járt, hogy a jelsorozatokról kvantitatív kijelentéseket lehetett tenni. Hátránya éppolyan nyilvánvaló: A *Shannon*-féle információfogalom – ahogy azt a későbbiekben részletesen kifejtjük – nem a maga teljességében ragadja meg az információt, csupán egy speciális aspektusára korlátozódik, amelynek főként az átvitel és a tárolás szempontjából van jelentősége. Teljesen figyelmen kívül hagyja, hogy egy szöveg mélyértelmű, érthető, helyes vagy helytelen-e vagy hogy van-e egyáltalán valami jelentése. Hasonlóan figyelmen kívül hagy olyan fontos kérdéseket, hogy honnan származik az információ (adó) és kinek szánták (vevő). A *Shannon*-féle információfogalom szempontjából semmi jelentősége nincs annak, hogy egy betűsorozat fontos és mélyértelmű szöveget ábrázol-e vagy kockadobással jött létre. Bármilyen paradoxnak tűnik is, egy véletlenszerű betűsorozatnak – információelméleti szempontból – maximális az információtartalma, míg egy azonos hosszúságú, de nyelvileg értelmes szövegé kisebb.

Shannon koncepciója: A *Shannon*-féle információfogalom alap gondolatát a hírátvitel problémája ihlette (az optimális átviteli sebesség meghatározása). Mivel a hírek tartalmi súlya és jelentősége a technikai átviteli rendszer szempontjából lényegtelen, ezeket a szempontokat figyelmen kívül hagyja. *Shannon* az információnak csupán egyik aspektusára korlátozódik, nevezetesen, hogy általa valami újat fejezünk ki. Röviden: információtartalom = újdonságtartalom. Az „újdonság” szó nem valami új ötletet, gondolatot vagy hírt takar – ami már a jelentés egy aspektusa lenne –, hanem egy ritkább jel által kiváltott nagyobb meglepetést. *Shannon* szerint csak akkor beszélhetünk információról, ha teljesen nem jósolható meg előre. Az információ tehát egy esemény valószínűségének mértéke. Ennek megfelelően egy valószínűtlen híreknek nagyobb információtartalmat tulajdonítunk. Eszerint az a hír, hogy

kétmillió játékos közül valaki megütötte a főnyereményt, „tartalmasabb”, mint az átlag minden tizedik húzásra eső főnyereményről szóló hír. Az előbbi esemény sokkal valószínűlenebb.

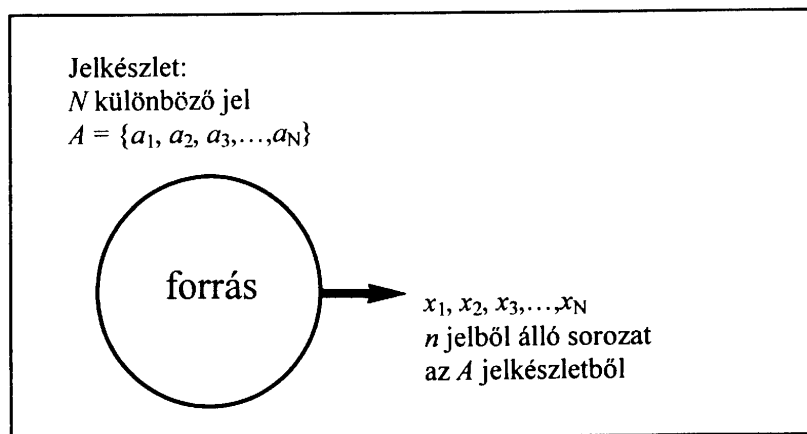
Mielőtt egy diszkrét jelforrás (vigyázat: nem információforrás!) lead egy jelet (31. ábra), bizonytalan, hogy a rendelkezésre álló jelkészletből (pl. egy N betűből álló ábécé: a_1, a_2, \dots, a_n) melyik speciális a_i jelet fogja leadni. Csak a jel beérkezésekor szűnik meg ez az előzetes bizonytalanság. A Shannon-féle szemléletmód szerint tehát érvényes: Az információ az a bizonytalanság, amely az illető jel megérkezésével megszűnik. Egy nagy „meglepetésnek” tehát több információt tulajdonítunk, mint egy meghatározott „bizonyossággal” fellépő jelnek. Most a matematika iránt érdeklődő olvasó számára szeretném felsorolni a Shannon-féle információelmélet néhány alapképletét, hogy jobban megérthesse ezt a fajta gondolkodásmódot.

1. Egy jelsorozat információtartalma: Amint azt a későbbiekben még világosabban látjuk majd, Shannon csupán a jelek előfordulási valószínűsége iránt érdeklődik. Ezért az információnak csupán a statisztikai dimenzióját ragadja meg. Ezáltal az információ fogalma egy jelentés nélküli aspektusra korlátozódik. Ha feltételezzük, hogy az egyes jelek előfordulásának valószínűsége egymástól független (pl. egy „q” betűt nem feltétlenül követ egy „u” betű), és az N különböző jel mindegyike egyenlően valószínű, akkor érvényes: Tetszőleges x_i jel előfordulásának valószínűsége $p = 1/N$. Shannon úgy definiálta az információtartalmat, hogy teljesüljön az alábbi három feltétel:

- i) k darab egymástól független hír¹ (jel vagy jelsorozat) információtartalma adódjon össze, azaz legyen érvényes az $I_{\text{össz}} = I_1 + I_2 + \dots + I_k$ összefüggés. Ezen összegzési feltétel szerint az információ mennyiségi jellegű.
- ii) Az egy hírnak tulajdonított információtartalom növekedjen az általa kiváltott meglepetéssel. A ritkább „y” betű (kis valószínűség) meglepetést okozó hatása nagyobb, mint a gyakoribb „e” betűé (nagy valószínűség). Ebből következik: Ha egy x_i jel p_i valószínűsége csökken, információtartalmának ezzel arányosan kell növekednie. Matematikailag ez fordított arányosságot jelent: $I \sim 1/p_i$.

¹ **Hír:** A Shannon-féle információelméletben híren nem valamilyen jelentéssel bíró üzenetet kell érteni, hanem csupán egy jelet (pl. betű) vagy jelsorozatot (pl. szó). Ebben az értelemben szabványosították a „hír” fogalmát a DIN 44 300 szabványban: „Olyan jelek vagy folytonos függvények, amelyek továbbadás céljából információt ábrázolnak ismert vagy feltételezett megállapodások alapján”.

- iii) A legegyszerűbb szimmetrikus esetben, amikor a jelkészlet csupán két jeltől áll (pl. „0” és „1”), amelyek azonos gyakorisággal fordulnak elő ($p_1 = 0,5$ és $p_2 = 0,5$), egy jel információtartalma éppen 1 bit legyen.



39. ábra: Egy jelsorozatokat előállító diszkrét forrás modellje.

A forrás egy N különböző jeltől álló jelkészlettel rendelkezik (pl. $N = 26$ betűből álló ábécé), amelyből időben egymás után egy n jeltől álló sorozatot állít elő. A forrás lehet egy jelgenerátor, amely meghatározott valószínűségeloszlás alapján véletlenszerűen jeleket állít elő, vagy akár egy mágnesszalagon tárolt ismeretlen szöveg, amelyet szekvenciálisan (azaz betűnként) továbbítanak.

F1.2 A statisztikai információ matematikai leírása

F1.2.1 A bit: a statisztikai információ mértékegysége

A természettudományokban és a technikában arra törekszenek, hogy a kutatási eredményeket lehetőleg számok és képletek segítségével fejezzék ki. Ebben fontos szerepet játszanak a mérési mennyiségek. Ezek két részből állnak: a mértékszámából és a mértékegységből. A mértékegység egy egységesen rögzített összehasonlítási érték (pl. méter, másodperc, watt), amelynek segítségével más, azonos típusú mérési mennyiségeket is számszerűen meg lehet adni.

A **bit** (az angol *binary digit* – bináris szám – rövidítése) az információ-tartalom kvantitatív leírásának mértékegysége. A bitek száma azonos a biná-

ris jelek számával. Az adatfeldolgozási rendszerekben az információt elektromos, optikai vagy mechanikai jelek formájában tárolják és dolgozzák fel. Technikailag rendkívül előnyös és emiatt elterjedt, hogy csak két definiált (bináris) állapotot alkalmaznak. Bináris vagy kétértékű azt jelenti, hogy a két bináris jel egyikét fogadják el értéként. Az egyik állapotot bináris egyesnek (1), a másikat bináris nullának (0) nevezik. H és L, IGEN és NEM, IGAZ és HAMIS, 12 V és 2 V éppenúgy lehetnek bináris jelpárok. A számítástechnikában bitnek nevezik a gépi szó egy bináris helyét is. A bit tehát a legkisebb, digitális számítógépben tárolható információ. Ha beviszünk egy szöveget egy EAF-rendszerbe, akkor az bináris formában tárolódik egy előre megadott kódnak megfelelően. Egy betű tárolása többnyire egy 8 bites egységben történik, amelyet byte-nak nevezünk. Egy szöveg információtartalma (= tárigénye) ezek után a szükséges bitek számával adható meg. Egyenlő hosszúságú, de tartalmilag különböző szövegekhez ily módon azonos információtartalmat rendelünk. Az információ értelmét és jelentését figyelmen kívül hagyjuk. A bitek száma ezért csupán a statisztikai információ mértéke, de nem a jelentőségéé.

A következő két számítási példán keresztül fogalmat nyerhetünk a *Shannon*-féle információ-definíció előnyeiről (pl. az információ tárigényének felmérése) és hátrányairól (a szemantikai szempontok figyelmen kívül hagyása).

1. példa: Biológiai információtároló: Az ember DNS-molekulája kitevítve körülbelül két méter hosszú és körülbelül $6 \cdot 10^9$ nukleotidot (kémiai betűk: adenin, citozin, guanin, timin) tartalmaz. Mennyi statisztikai (azaz *Shannon*-féle) információt jelent ez? Mivel a négy kémiai betű körülbelül azonos eloszlásban fordul elő, átlagos információtartalmuk a (10) egyenlet szerint $H = \lg 4 = \log 4 / \log 2 = 2$ bit. Az egész DNS-re ebből $I_{\text{össz}} = 6 \cdot 10^9$ nukleotid \cdot 2 bit/nukleotid = $1,2 \cdot 10^{10}$ bit tárolóképesség adódik. Ez 750 000 gépelt oldalnyi információmennyiségnek felel meg. Mivel 1 Kbit 1024 bit, az emberi DNS integráltsági foka $12 \cdot 10^9 / 1024 = 11,72 \cdot 10^6$ Kbit. Ez a szám kb. 22-szerese az eddigi legnagyobb integráltságú memória-chip (512 Mbit-es chip) tárolókapacitásának.

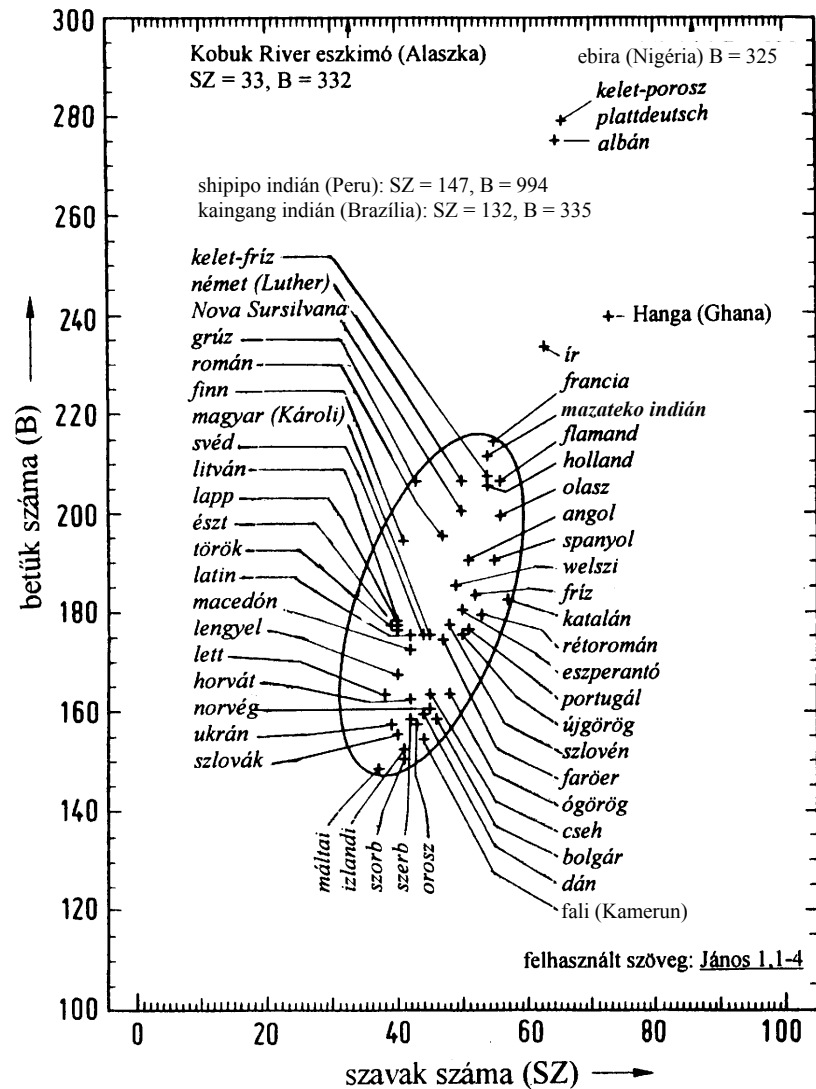
2. példa: A Biblia statisztikai információtartalma: Az angol Biblia (*King James Version*) 3 566 480 betűt és 783 137 szót tartalmaz [D1]. Ha hozzászámítjuk a szóközöket is, $n = 3\,566\,480 + 783\,137 - 1 = 4\,349\,616$ jel adódik. Az angol nyelv betűgyakoriságainak figyelembe vételével (beleértve a szóközt is) egyetlen betű átlagos információtartalma (entrópiának is nevezik) $H = 4,046$ bit (lásd *1. táblázat*). Tehát a Biblia teljes statisztikai információtartalmára $I_{\text{össz}} = 4\,349\,616 \cdot 4,046 = 17,6$ millió bit adódik. Mivel a német

nyelvű Biblia az angolnál több betűt tartalmaz, ennek a *Shannon*-féle számítási mód szerint az azonos jelentéstartalom ellenére nagyobb az információtartalma. Szélsőségessé válik a különbség, ha a *shipipo*-indiánok nyelvét vesszük összehasonlítási alapul (lásd 40. ábra és 2. táblázat). Ennek az indián Bibliának $994/191 = 5,2$ -szer nagyobb az információtartalma, mint az angol Bibliáé. Ez a szemléletmód újból világossá teszi a *Shannon*-féle információ-definíció problematikáját. Teljesen azonos jelentéstartalom mellett (itt: a Biblia) *Shannon* szerint számottevő különbségek lehetnek. Ennek az az oka, hogy a *Shannon*-féle információérték – eltekintve a (6) egyenlet nyelvspecifikus H tényezőjétől – csak a betűk számától függ. Egy a jelentésről számot adó információérték ilyen esetekben ugyanazt a számértéket adná függetlenül attól, hogy milyen nyelven fogalmazták a kijelentést.

A 2. táblázatban három afrikai és négy amerikai nyelven van leírva János evangéliumának első négy verse. A „Meg van írva...” című könyvben [G18, 95-98] kiegészítésül 47 európai nyelven is le vannak írva ezek a versek. A „86 sz 325 b” adat azt jelenti, hogy az adott szöveg 86 szóból és 325 betűből áll. A hetedik felsorolt nyelv (Mazateco) egy dallamnyelv. A 40. ábra mind az 54 nyelvre megadja B és SZ értékét.

A 32. ábra 47 különböző európai nyelvre (dőlt betűk) és 7 kiválasztott afrikai és amerikai nyelvre (egyenes betűk) ábrázolja B (ordináta) és SZ (abszcissza) értékét János evangéliumának első négy verse esetén. Figyelemre méltó, hogy majdnem mindegyik európai nyelv koordinátái a berajzolt ellipszisen belülre esnek. A felsorolt nyelvek közül a máltai jön ki a legkevesebb betűből és szóból, míg a *shipipo*-indiánok nyelvének van szüksége a legtöbb betűre és szóra ugyanazon szemantikai információ kifejezésére.

Nem tévesztendő összes a *Shannon*-féle információtartalommal a jelsorozat tárigénye. A tárolóeszközt nem érdekli egy jel előfordulásának a valószínűsége, csak a jelek abszolút száma. Ha szövegeket tárolunk egy EAF-rendszerben, egy betűhöz általában 8 bitre (= 1 byte) van szükség. Az angol Biblia 4 349 616 betűjéhez (írásjelek nélkül) tehát $4\,349\,616 \cdot 8 = 34,8$ millió bitre lenne szükség.



40. ábra: A betűk (B) és szavak (SZ) száma tartalmilag azonos szövegekben, mint a különböző nyelvek statisztikai jellemzője

sorsz. afrikai és amerikai nyelvek	
1	<p>1 Hure umorumo, d'a va ye ka aa me ehe. Ireji Ohomorih hure ya izoo ni. Ireji onoo vi ana ya ida Ohomorih, Ireji onoo gede-gede vi Ohomorih. 2 Hure umorumo onoo, Ireji onoo hure ya ida Ohomorih ni. 3 Ini oze Ireji onoo Ohomorih zi me avaba isa ni. Inj avaba isa on Ohomorih tu saka-saka, ayi nyi ikonya ene eyi vi ini oze Ireji onoo o ya tugo. 4 Ireji onoo o me ka isavi-savi e yara ni. Oyi yara onoo aa si etohueyii zu aza ni. (EBIRA, Nigéria; 86 sz, 325 b)</p>
2	<p>1 Bunso zaa piiligu, so ba n boona Yelibii n daa n na, o ba Naawun saani, ka o ni Naawuni ni ni lunko. 2 ka o ni Naawuni daa n ba ni piiligu maa. 3 O zu n na, bunso zaa daa n maali, ka pa o zu, bunso zaa daa n ki maali. 4 A kpali o zu, bunso zaa n daa n maali la marini nyevuri, ka nyevuri maa mi ti nisaaldima paaligu, ba nyaara. (HANGA, Ghana; 73 sz, 240 b)</p>
3	<p>1 A daarra jay pi yey taae na, taaanjirre na ni Fay. Yey gi taae Fay. 2 A daarra taaanj ni Fay. 3 Jay pi mbangsi ni erra. Cen jay mbangsi, to naa ni erra gi ba. 4 E hTige guyrre. Guyrre maan taae kayang da nit ay. (FALI, Kamerun; 44 sz, 155 b)</p>
4	<p>1 Aullagniisaaqaaqataqman ittuq uqatiq, uqatiq iqataupluni Agaayutmi, sulii uqatiq Agaayutaupluni. 2 Ilaa piqatauniqsuq Agaayutmi aullagniisaaqaaqataqmani. 3 Ilaa piqatigiplugu Agaayun iñiqtaaqtuq supayaamik. Atausriq-unniiñ ilugaaniñ iñiqtagikkapaniñ iñiqtaunqitchuq piilaaglugu. 4 Uqatiq ihugutiqaqhuni inmiñi, taavruma iñuuthum iñuich qaggutigai, kanjisiiksrajanun Agaayutmik. (KOBUK RIVER eszkimó, Alaszka; 33 sz, 332 b)</p>
5	<p>1 Ja Joi Ibo yoiquinra, en mato yoiat. Jabichoressiqui, jahuequesarin Dios ishon, jan jato quiquinshamanhaquin onanmai; noa yoyo icatoninbi huetsabaon non icábo onancanal quescáquin. Ja Joi Iborá, Diosen nato nete joniamatianbi jaa iqui. Jara jatíbitian Dios betanbishaman jaconhiraí jaque. Jainoañ jaribi iqui, Dios betan senenribi. 2 Jascara iquenra, en mato banebalinquín yoiat. Ja Joi Iborá, Diosen nete joniamatianbi jaa iqui. Jascara icañña, jaribi iqui Dios, jainoañ ja betanbishamanribi jatíbitian jaque. 3 Ja Joi Ibo betan rabeánan jatíbi jahuequibo jonianoñhonra, Diosen shinana iqui. Jascara icaññiqui, jatíbi non oinaí jahuequiboyabi nato neten jaa jahuequibo, ja Joi Ibon joniaabires; jascáanon ishon Diosenbi imaa icaññ. Jatíbi jan joniyamaquetianra, jahuebi yamaqueanque. 4 Jascati jatíbitian jaa ishonra, joniboribi jan joníaa iqui. Jascara ishonra, jatíbitianbiressibi noa jatíbi jonibo jan jamai. Jascáquin noa jatíbitian jan jamai ishonra, jatíbi noabo jan acai noa aconquin onamaquin; jahuequesarin Dios ishon. Nato netemea jahuequibo joean tenaquetian non oinaí quescáquinra, jan noa Dios onanmai. (SHIPPO-CONIBO indián, Peru; 147 sz, 944 b)</p>
6	<p>1 Topé t̃y nén ũ kar han ja tūg ki tóg ñI ja ñI, ěg t̃y ũ to: "Topé ṽI," he m̃ũ ěn ti, h̃ã to ěg: Jesus, he m̃ũ. Topé mré tóg ñI ñI. Topé ṽy t̃y ti ñI gé. 2 Topé t̃y nén (ũ) kar han tūg ki tóg Topé mré ñI ñI. 3 T̃i h̃ã tugñT̃n tóg nén ũ kar han, Topé ti, ěg t̃y ũ to: "Topé ṽI," he m̃ũ ěn tugñT̃n. 4 pir m̃y Topé tóg nén ũ han t̃ũ ñI, ti h̃ã mre tóg nén kar han k̃ã. 4 ěg t̃y ũ to: "Topé ṽI," he m̃ũ ěn ṽy r̃T̃r ñI, h̃ã k̃y tóg ěg r̃T̃r han m̃ũ gé. J̃engr̃e ri ke ti ñI, ũ t̃y ěg r̃T̃r han m̃ũ ěn ti. T̃i t̃y ěg kanhr̃ã to ken h̃ã ṽe. (KAINGANG indián, Brazília; 132 sz, 335 b)</p>
7	<p>1 C̃'ia' nca' to'ts'in' -le' cjoa' to'c'oa' ti'jna' je' en'. Je' en' ti' -jna't'a' Ni'na'. Je' en' ña'qui' Ni'na' ni'. 2 Je' -vi' xi' ti'jna't'a' Ni'na' c'ia' nca' to'ts'in' -le' cjoa'. 3 Je' tsa'c'e'nta' nca'y'i'je' tso'jmi'. Tsa' tsin' je', ni'to'jme' -jin' xi' tjin' xi' qui's'e'nta'. 4 Je' xi' tjin' -le' cjoa'vi'jna'chon'. Je' cjoa'vi'jna'chon' je' l'pi' xi' si'?'i' sen' -le' cho'ta'. (MAZATECO indián, Mexikó; 54 sz, 212 b)</p>

2. táblázat: János 1,1-4 különböző nyelveken

(A szerző szeretne köszönetet mondani A. Holzhausen úrnak (Wycliff Bibliafordító, Burbach) a biblia-szövegek megszerzésében nyújtott segítségével.)

F1.2.2 Az információs spirál

A 3. táblázatban egy sor példát látunk a természetes nyelvek, a mindennapi élet, az adatfeldolgozás és a biológia területéről, amelyeknél az információ-mennyiségek bitben vannak megadva. Ha egy diagramon akarjuk szemléltetni ezt az óriási számtartományt, akkor több mint 24 nagyságrendet kell átfogni. Mi egy logaritmikus osztású spirált választottunk a szemléltetésre. A két egymást követő osztásjelhez tartozó értékek egy 10-es szorzóban térnek el egymástól. A 41. ábrán egy válogatás látható a 3. táblázatban felsorolt példák közül.

Külön kiemeljük azt a két, egymástól távol eső tartományt, amelyek a 42. ábrán szokatlan módon egymás mellett láthatók. Itt két különböző tároló médiumot ismerhetünk fel:

- tárolástechnika a számítógépekben, amit a mikrochip szemléltet,
- biológiai információátvitel a DNS-molekulákban – ezt a hangya reprezentálja (F1.2.3 alfejezet).

Bit	különböző információmennyiségek összehasonlítása
Bit	I = statisztikai információtartalom i = jelenkénti statisztikai információtartalom S = tárolókapacitás v = átviteli sebesség
1 1024 $1,049 \cdot 10^6$ $1,074 \cdot 10^9$ $1,000 \cdot 10^{12}$ 8 $8,192 \cdot 10^3$ $8,389 \cdot 10^6$ $8,590 \cdot 10^9$ $8,796 \cdot 10^{12}$	szokásos információegységek: 1 bit 1 Kbit = 2^{10} bit = 1024 bit 1 Mbit = 2^{20} bit = 1024 · 1024 bit = 1 048 576 bit 1 Gbit = 2^{30} bit = 1024 ³ bit = 1 073 741 824 bit 1 Tbit = 2^{40} bit = 1024 ⁴ bit = 1 099 511 627 776 bit 1 byte = 8 bit (= 1 oktád = 2 tetrád) 1 Kbyte = 1024 byte = 8192 bit 1 Mbyte = 1 048 576 byte = 8 388 608 bit 1 Gbyte = $1,073742 \cdot 10^9$ byte = $8,5899 \cdot 10^9$ bit 1 Tbyte = $1,099512 \cdot 10^{12}$ byte = $8,796 \cdot 10^{12}$ bit
4,755	egyetlen betű információtartalma: a 27 karakterből álló ábécében (26 betű és egy szóköz) a) azonos gyakoriság minden betűre: $i = \lg 27 = \lg 27 / \lg 2 = 4,755$ bit/betű

Bit	különböző információmennyiségek összehasonlítása
4,133	b) figyelembe véve a betűk gyakoriságát a német nyelvben (lásd 1. táblázat): $i = \sum p_i \cdot \lg(1/p_i) = 4,133$ bit/betű
4,05	c) figyelembe véve a betűk gyakoriságát az angol nyelvben (lásd 1. táblázat): $i = \sum p_i \cdot \lg(1/p_i) = 4,05$ bit/betű
3,32	d) kettős betűcsoportok figyelembe vétele (lásd 4. táblázat; bigrammák): $i = 3,32$ bit/betű
3,1	e) hármas betűcsoportok figyelembe vétele (lásd 4. táblázat; trigrammák): $i = 3,1$ bit/betű
1-2	f) a nyelv redundanciájának figyelembe vétele: $I = 1-2$ bit/betű
	egy számjegy információtartalma különböző számrendszerekben:
1	a) kettes (bináris) számrendszer: 2 különböző számjegy (0 és 1) $i = \lg 2 = 1$ bit/számjegy
3,32	b) tízes (decimális) számrendszer: 10 különböző számjegy (0,1,2,...,9) $i = \lg 10 = \log 10 / \log 2 = 3,32$ bit/számjegy
4	c) tizenhatos (hexadecimális) számrendszer: 16 különböző számjegy (1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F) $i = \lg 16 = 4$ bit/számjegy
	genetikai kód:
	A DNS-molekulában négy kémiai betű (nukleotid) található: A, C, G, T. A három nukleotidból álló triplettek egy-egy aminosavat kódolnak.
2	a) egy betű információtartalma (egyenlő gyakoriság) $i = \lg 4 = 2$ bit/nukleotid
6	b) egy triplett információtartalma a DNS-molekulában: $i = 3$ betű/triplett $\cdot 2$ bit/betű = 6 bit/triplett

Bit	különböző információmennyiségek összehasonlítása
4,32	c) a 20 lehetséges aminosav egyikének információtartalma (itt az egyszerűség kedvéért egyenletes eloszlást tételezünk fel): $i = \lg 20 = 4,32$ bit/aminosav
1,44	d) egy betű információtartalma, ha az aminosavéból indulunk ki: $i = 4,32$ bit/aminosav = 4,32 bit/triplett = 1,44 bit/betű
	a mindennapi élet területéről:
198	egy percnyi számolás: $v = 3,3$ bit/s = 198 bit/min
960	egy percnyi gépirás: $v = 16$ bit/s = 960 bit/min
1320	egy percnyi zongorajáték: $v = 22$ bit/s = 1320 bit/min
$3,5 \cdot 10^4$	az emberi fül információfelvétele 1 s alatt: $v = 3,5 \cdot 10^4$ bit/s
$1,6 \cdot 10^4$	1 A4-es gépelt oldal 2000 karakterrel: $S = 2000$ karakter \cdot 8 bit/karakter = 16 000 bit
$1,28 \cdot 10^4$	egy EAF-terminál képernyőjének tartalma: $S = 20$ sor \cdot 80 karakter/sor = 1600 karakter $S = 1600$ byte = $1,28 \cdot 10^4$ bit
$3,1 \cdot 10^5$	TV-képernyő: 300 Kbit 1/30 sec alatt: $v = 300 \cdot 1024 = 307\,200$ bit 1/30 sec alatt
$3,1 \cdot 10^5$	telefonbeszélgetés (300 Kbit/min): $v = 300 \cdot 1024 = 307\,200$ bit/min telefonálás műholdon keresztül:
$1,843 \cdot 10^7$	a) első hírközlési műhold (Telstar, 1962): 60 beszélgetés $I = 60 \cdot 307\,200$ bit/min = $1,843 \cdot 10^7$ bit/min
$7,373 \cdot 10^7$	b) első teljesen kereskedelmi célú műhold (Early Bird = Intelsat I, 1965): $I = 240 \cdot 307\,200$ bit/min = $7,373 \cdot 10^7$ bit/min

Bit	különböző információmennyiségek összehasonlítása
$1,014 \cdot 10^{10}$	c) Intelsat VI (1986): 33 000 egyidejű telefonálás $I = 33\,000 \cdot 307\,200 \text{ bit/min} = 1,014 \cdot 10^{10} \text{ bit/min}$
$2 \cdot 10^6$	HIFI hanglemez: 2Mbit/min
$1,5 \cdot 10^{10}$	Compact Disc (CD): $15 \cdot 10^9 \text{ bit}$
$4 \cdot 10^{13}$	speciális összeköttetés fényhullám-vezetőkkel (száloptika) Zürichi Műszaki Egyetem (Svájc, 1996) 600 000 szimultán telefonbeszélgetés, $40 \cdot 10^{12} \text{ bit/s}$
	a számítástechnika területéről:
$1,6 \cdot 10^4$	az első generációs EDSAC számítógép központi memóriája: $2\,000 \text{ byte} = 16\,000 \text{ bit}$
$1,214 \cdot 10^6$	$5 \frac{1}{4}$ " floppy PC-hez: $1,2 \text{ Mbyte} = 1\,213\,952 \text{ bit}$
$1,174 \cdot 10^7$	$3 \frac{1}{2}$ " floppy PC-hez: $1,4 \text{ Mbyte} = 1,4 \cdot 8,388 \cdot 10^6 \text{ bit} = 1,174 \cdot 10^7 \text{ bit}$
$1,258 \cdot 10^7$	korábbi nagyszámítógépek (pl. TR440, 1970) központi tára: $256 \text{ Kszó} \cdot 48 \text{ bit} = 12\,582\,912 \text{ bit}$
$4,54 \cdot 10^7$	egy mágnesszalag tárolókapacitása: 720 m hosszú, 1 600 bit per inch jelsűrűség $S = 1\,600 \text{ bpi} \cdot 720 \cdot 10^3 \text{ mm} / (25,4 \text{ mm/inch}) = 4,54 \cdot 10^7 \text{ bit}$
$9,6 \cdot 10^7$	egy gyorsnyomtató teljesítménye egy óra alatt: 1250 sor/min; maximálisan 160 karakter/sor $v = 1250 \cdot 160 \cdot 60 \cdot 8 = 9,6 \cdot 10^7 \text{ bit/h}$
$1,34 \cdot 10^8$	mai személyi számítógépek (PC) központi memóriája: $16 \text{ Mbyte} = 16 \cdot 1\,048\,576 \text{ byte} = 16\,777\,216 \text{ byte} = 1,34 \cdot 10^8 \text{ bit}$
$4,194 \cdot 10^9$	mai személyi számítógépek merevlemeze: 40 Gbyte $40 \cdot 8,5899 \cdot 10^9 \text{ bit} = 3,43 \cdot 10^{11} \text{ bit}$
$1,678 \cdot 10^{10}$	mai nagyszámítógépek központi memóriája: $2000 \text{ Mbyte} = 16\,777\,216\,000 \text{ bit}$
$1,718 \cdot 10^{10}$	mai PC-k merevlemeze (winchester): 500 Mbyte - 2 Gbyte $2 \text{ Gbyte} = 2 \cdot 8,5899 \cdot 10^9 \text{ bit} = 1,7179 \cdot 10^{10} \text{ bit}$
10^{12}	a holografikus táruk elméleti kapacitása: 10^{12} bit/cm^3

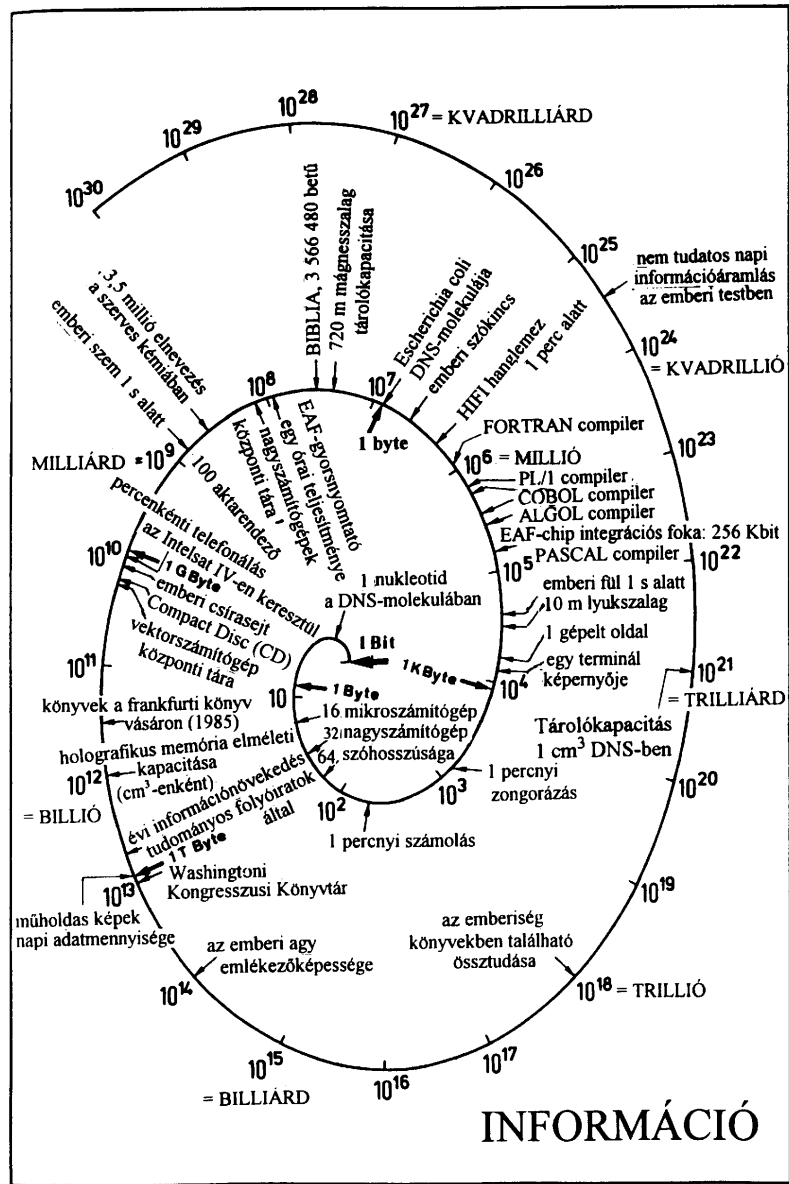
Bit	különböző információmennyiségek összehasonlítása
10^{12}	a világ leggyorsabb számítógépe (Sandio National Laboratories, Albuquerque, New Mexico, 1996) Intel Computer 7264 db Pentium chippel $v = 1,06 \cdot 10^{12}$ művelet másodpercenként
$4,8 \cdot 10^6$	a tudományok és az irodalom területéről: az elektronika szakkifejezései: 60 000 szakkifejezés (<i>Großer Duden</i> , 1. kötet), kb. 10 betű/szó $S = 60\,000 \cdot 10 \cdot 8 = 4,8 \cdot 10^6$ bit
$1,28 \cdot 10^7$	Meyer Nagy Univerzális Lexikona (15 kötet): 200 000 címszó = $200\,000 \cdot 8 \cdot 8 = 1,28 \cdot 10^7$ bit
$2 \cdot 10^7$	az orvostudomány szakkifejezései: 250 000 szakkifejezés (<i>Duden</i> , 1. kötet szerint) $S = 250\,000 \cdot 10 \cdot 8 = 2 \cdot 10^7$ bit
$4,2 \cdot 10^8$	elnevezések a szerves kémiában: 783 137 (<i>Duden</i> , 1. kötet szerint), 15 betű/elnevezést véve $S = 3,5 \cdot 10^6 \cdot 15 \cdot 8 = 4,2 \cdot 10^8$ bit
$3,47 \cdot 10^7$	az angol <i>King James version</i> Biblia: 783 137 szó, 3 566 480 betű $I = (3\,566\,480 + 783\,137 - 1)$ karakter \cdot 4,05 bit/karakter = = $17,6 \cdot 10^6$ bit $S = (3\,566\,480 + 783\,137 - 1) \cdot 8 = 34,72 \cdot 10^6$ bit
$8 \cdot 10^8$	100 aktarendező = 50 000 gépelt oldal $I = 50\,000 \cdot 2\,000 = 10^8$ karakter = $8 \cdot 10^8$ bit
$5,76 \cdot 10^{12}$	a tudományos folyóiratok jelenlegi száma: 100 000 feltevések: 100 oldal / folyóirat, 6000 karakter/oldal, havi megjelenés évi információnövekedés: $S = 100\,000 \cdot 100 \cdot 6\,000 \cdot 12 \cdot 8 = 5,76 \cdot 10^{12}$ bit
$3,5 \cdot 10^{11}$	könyvek az 1992-es 44. frankfurti könyvvásáron összesen 350 000 könyv, ebből 101 000 új $I = 350\,000$ könyv \cdot 10^6 bit/könyv = $3,5 \cdot 10^{11}$ bit
$6,2 \cdot 10^{11}$	Németországban jelenleg 620 000 könyv kapható: $I = 620\,000$ könyv \cdot 10^6 bit/könyv = $6,2 \cdot 10^{11}$ bit Minden évben több mint 60 000 új könyv kerül piacra.

Bit	különböző információmennyiségek összehasonlítása
10^{13}	az USA Kongresszusi Könyvtára (Washington): 10^7 kötet [S3] $I = 10^7$ kötet \cdot 10^6 bit/kötet = 10^{13} bit
10^{18}	Az emberiség könyvekben található ösztudása: 10^{18} bit Összehasonlításul: 1 könyv 100 gépelt oldallal = 200 000 karakter = $1,6 \cdot 10^6$ bit 10^{18} bit tehát 625 milliárd ilyen könyvnek felel meg. Ha egy könyv vastagságát 1,5 cm-nek vesszük, a szükséges könyvespolc szélességére (Sz) a következő érték adódik: $Sz = 625 \cdot 10^9$ könyv \cdot 1,5 cm/könyv = $937,5 \cdot 10^9$ cm = 9,4 millió km = 235 x az egyenlítő hosszúsága
$9,06 \cdot 10^{12}$	a műholdas képek napi mennyisége: átviteli sebesség: 100 Mbit/s $I = 100 \cdot 1,048 \cdot 10^6 \cdot 86\,400 = 9,055 \cdot 10^{12}$ bit/nap
$3,9 \cdot 10^6$	a biológia területéről: az ember szókinése Küpfmüller szerint [S3]: az anyanyelv 100 000 szava (összehasonlításul: a Volksbrockhaus lexikon szókinése 250 000 szó) Egy betű kiválasztása: 1,5 bit a beszédmód számára 5 bit (= ld 32) az írásmód számára 6 betű /szó esetén: $S = 100\,000 \cdot 6 \cdot (5 + 1,5) = 3,9 \cdot 10^6$ bit
10^{14}	az emberi agy emlékezőképessége tisztán materiális szemléletmód esetén [S3] szerint: a) <i>McCullach</i> : 10^{13} - 10^{15} bit b) <i>Küpfmüller</i> : $3,9 \cdot 10^6$ bit (csak szómémória) c) <i>Müller</i> : 1 500 bit/komplexum \cdot 1000 tudáskomplexum = $1,5 \cdot 10^6$ bit d) v. <i>Neumann</i> : 10^{10} idegsejt az agyban, 14 bit/s a standard receptoroknál, 60 év alatt: $S_{\max} = 10^{10} \cdot 14$ bit/s \cdot 60 év \cdot 365 nap/év \cdot 24 h/nap \cdot 3600 s/h $S_{\max} = 2,65 \cdot 10^{20}$ bit Mint azt [G16]-ban részletesen kifejtettük, az információtárolás az embernél nem magyarázható csupán az agy neuronkapcsolásaival.

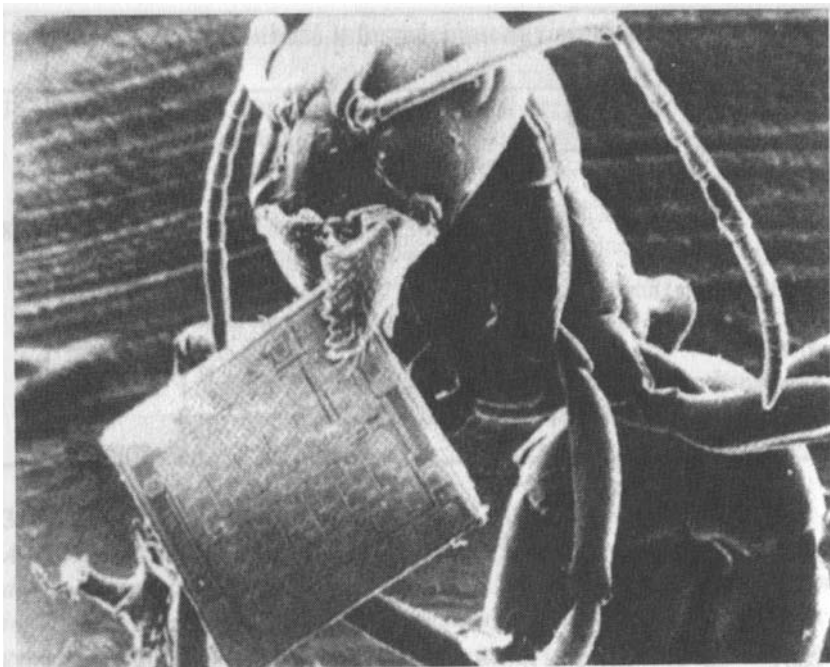
Bit	különböző információmennyiségek összehasonlítása
10^{21}	Tárolási lehetőség 1 cm ³ DNS-ben: 10^{21} bit (DNS = dezoxi-ribonukleinsav)
$3,4 \cdot 10^{24}$	nem tudatos napi információáramlás az emberi testben [S3], mint pl. a makromolekulák produkciója: $v = 3,9 \cdot 10^{19}$ bit/s = $3,37 \cdot 10^{24}$ bit/nap
$7,9 \cdot 10^8$	az emberi szem által rögzített kép másodpercenként 14 kép esetén [S3]: $v = 10^{10}$ bit/s $I = (10^{10} \text{ bit/s}) / (14 \text{ kép/s}) = 7,86 \cdot 10^8$ bit/kép
$1,2 \cdot 10^{10}$	az emberi csírasejt: $6 \cdot 10^9$ nukleotid a DNS-ben $I = 6 \cdot 10^9$ nukleotid \cdot 2 bit/nukleotid = $1,2 \cdot 10^{10}$ bit
$8 \cdot 10^6$	az Escherichia coli DNS-molekulája Ennek a baktériumnak a súlya 10^{-13} g és csak 2 μ m hosszú. DNS-molekulája kiterítve 1 mm hosszú és 4 millió betűt (nukleotidot) tartalmaz. $I = 4,7 \cdot 10^6$ nukleotid \cdot 2 bit/nukleotid = $9,4 \cdot 10^6$ bit A sejtosztódás kb. 20 percig tart. A betűk pusztá felismerése ennél 1 000-szer gyorsabban halad. Ez $9,4 \cdot 10^6$ bit \cdot 1000/(20 \cdot 60) = $7,75 \cdot 10^6$ bit/s olvasási sebességet jelent.

3. táblázat: Különböző statisztikai információmennyiségek összehasonlítása

A táblázat különböző területeken előforduló információmennyiségekre sorol fel példákat: a természetes nyelvek és a genetikai kód betűi, számítástechnika, tudomány és irodalom, biológia. A baloldali oszlopban megadott összes számérték bit egységekben értendő, tehát a statisztikai információ mértéke. A könnyebb érthetőség kedvéért több esetben egy rövid levezetést is megadtunk.



41. ábra: Az információs spirál



42. ábra: A hangya és a mikrochip

A mikrochipek a modern számítógépek tárolóelemei. Részletei alig láthatók, mivel a struktúraszélesség értéke kb. egy milliomod méter. Ma egy kevesebb mint hat négyzetmilliméteres chip teljesíti azt, amit a Pennsylvania Egyetem 30 tonnás számítógépe 1946-ban. Pár éve még forradalminak számítottak azok a chipek, amelyek négy gépelt oldalnyi szöveget tudtak tárolni. Ma már lehetséges egyetlen chipen tárolni Braunschweig város összes telefonszámát. Eközben olyan gyorsan működnek, mintha valaki egy másodperc alatt 200-szor olvasná el a Bibliát. Csak egy dologra nem lesz képes soha a világ összes chipje sem – nevezetesen: ami a hangyát hangyává teszi és amire képes. (Forrás: Werkbild Philips; a Valvo Unternehmensbereich Bauelemente der Philips GmbH, Hamburg szíves engedélyével)

Számítástechnika

A programvezérlésű számítógépek úttörőjének Konrad Zuse német feltaláló számít (1910–1995), aki 1941-ben megépítette az első üzemképes számítógépet, a Z3-at. Ez 600 telefonrelét tartalmazott a számológységében és 2000 relét a tárológységében. Tárolókapacitása 64, egyenként 22 bites szám volt.

Másodpercenként 15-20 aritmetikai műveletet tudott végrehajtani, egy szorzás pedig 4-5 másodpercig tartott. A továbblépést az elektroncsövek alkalmazása jelentette (első generációs számítógépek). 1946-ban üzembe helyezték az ENIAC nevű számítógépet 18 000 elektroncsővel és más építőelemmel, melyek több mint félmillió forrasztással voltak összekötve. Egy összeadást 0,2, egy szorzást pedig 2,8 ezredmásodperc alatt tudott elvégezni. Szóhosszúsága² 10 decimális hely volt, 30 tonnát nyomott és 150 kW elektromos energiát fogyasztott. Sokéves kísérletezés vezetett 1947-ben a tranzisztor feltalálásához, amely 1955-ben elindította a számítógépek második generációját. Elektroncsövek helyett tranzisztorokat alkalmaztak mint új, lényegesen kisebb és gyorsabb áramköri elemeket. További mérföldkő volt a mai nagy teljesítményű számítógépek felé vezető úton az áramkörök különböző, de ugyanazon az anyagdarabon kialakított komponensekből való előállítás. Kilbynek és Hoerninak ez az újszerű integrációs ötlete 1958-ban elvezetett az első integrált áramkörhöz (IC: *Integrated Circuit*). A további fejlődés valamint az áramköri elemek szilíciumchipenkénti (ang. *chip* = lapocská) számának növekedése elindította a számítógépek harmadik generációját. Gyors fejlődés zajlott le az első integrált áramkörtől (1958) a mai 512 megabites chipekig. Az építőelemenkénti komponensek számától függően a következő integrációs szinteket különböztetjük meg:

SSI (Small Scale Integration) (alacsony/kis/rövid)	1 - 10
MSI (Medium Scale Integration) (közepes)	10 - 10 ³
LSI (Large Scale Integration) (hosszú)	10 ³ - 10 ⁴
VLSI (Very Large Scale Integration) (nagyon hosszú)	10 ⁴ - 10 ⁶
GSI (Grand Scale Integration) (hatalmas)	≥ 10 ⁶

Az a nagyfokú integráltság, amelynél egyetlen 5-30 mm²-es szilíciumlapocskán 500-150 000 tranzisztort alakítanak ki, elvezetett a mikroproceszorok kifejlesztéséhez. E technika segítségével lehetővé vált, hogy egyetlen chipen helyezték el a számítógépek központi és memóriaegységeit. Szinte kétévenként megduplázódott a chipenkénti áramköri funkciók száma. 1984-ben az IBM először fejlesztett ki egy olyan kísérleti memóriachipet, mely átlépte a milliós határt: Több mint egy millió bit (1 megabit = 2²⁰ bit = 1 048 576 bit) tárolása vált lehetővé egy 10,5 mm x 7,7 mm = 80,85 mm²-es szilíciumfelületen. Ezen a megabites chipen 13 025 bit/mm²-es tárolási sűrűséget valósítottak meg. A chipen levő adatok hozzáférési ideje 150 nanoszekundum volt (1 ns = 10⁻⁹ s = 1 millárdod másodperc). Az integrációs

² **Szóhosszúság:** Szónak nevezzük biteknek egy olyan sorozatát, melyet egy számítógép utasításai összefüggően dolgoznak fel. Az ábrázolható számok tartománya, valamint a felhasznált adathelyek száma a szó hosszúságától és struktúrájától függ (lásd 3. táblázat).

sűrűség a következő években tovább nőtt. Ma (2002) már vannak 512 megabites chippek is.

F1.2.3 A legnagyobb statisztikai információsűrűség

Az általunk ismert legnagyobb információs sűrűség az élő sejtek DNS-molekuláiban valósul meg. A 35. ábrán láthatók ennek a kémiai tároló médiumnak a méretei: átmérője $2 \text{ nm} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$, spiráljának menetemelkedése pedig 3,4 nm. Ebből a menetenkénti hengertérfogat ($V = h \cdot d^2 \cdot \pi/4$) értéke:

$$V = 3,4 \cdot 10^{-6} \cdot \text{mm} \cdot (2 \cdot 10^{-6} \text{ mm})^2 \cdot \pi/4 = 10,68 \cdot 10^{-18} \text{ mm}^3$$

A kettős spirál egy menetére 10 kémiai betű (nukleotid) jut, amiből a statisztikai információsűrűség értéke:

$$\rho = 10 \text{ betű}/(10,68 \cdot 10^{-18} \text{ mm}^3) = 0,94 \cdot 10^{18} \text{ betű}/\text{mm}^3 = 0,94 \cdot 10^{21} \text{ betű}/\text{cm}^3$$

Ha az egy aminosavra kiszámított közepes 4,32 bit információigényt (lásd 11.2 alfejezet) a genetikai kód egy betűjére (nukleotid) vonatkoztatjuk, a $4,32 \cdot 3 = 1,44 \text{ bit/betű}$ értéket kapjuk. Szeretnénk kifejezni a DNS statisztikai információsűrűségét az imént kiszámított értékekkel, 2 bit/ betű betűnkénti információtartalommal számolva (lásd 3. táblázat, genetikai kód, a) eset):

$$\rho = 0,94 \cdot 10^{18} \text{ betű}/\text{mm}^3 \times 2 \text{ bit/betű}$$

$$\rho = 1,88 \cdot 10^{18} \text{ bit}/\text{mm}^3 \text{ ill. } 1,88 \cdot 10^{21} \text{ bit}/\text{cm}^3$$

Ez az információsűrűség elképzelhetetlenül nagy, úgyhogy szeretnénk egy hasonlattal szemléltetni. A 43. ábrán meg vannak adva annak az A diaképnek [M5] a méretei, amelyre egy speciális mikroeljárás segítségével fotografikusan rögzítették az egész Bibliát Mózes első könyvétől a Jelenések könyve 22. részéig. A [G17, 78-81]-ben elvégzett számítás szerint a DNS-molekula a diaképen lévő teljes Bibliához képest 7,7 billiószoros tárolási sűrűséget képvisel. Ez az hasonlat még inkább bámulatba ejtő, ha elképzeljük, milyen mértékben kellene összesűriteni az információt a B diaképen, hogy elérjük a DNS információsűrűségét. Az A diáéval azonos felületen B esetén 2,77 millió sort és 2,77 millió oszlopot kellene elhelyezni, és az így keletkezett minden egyes kis négyzetre újra le kellene képezni (olvashatóan!) a teljes Bibliát. Csak ily módon érhetnénk el azt a sűrűséget, amelyet minden egyes sejt információhordozói megvalósítanak. Azt is meg kell gondolnunk, hogy a B dia előállítása technikailag lehetetlen, hiszen bármilyen fotografikus eljárás

makroszkopikus tárolási technika lenne és nem olyan, ahol az egyes molekulák szolgálnak tárolóegységként. Még ha lehetséges volna is egy ilyen fotografikus technika, csupán egy statikus, tehát a DNS tárolási elvétől minőségileg alapvetően különböző tárolási technikát nyernénk. A DNS-molekula dinamikus tároló, hiszen egy bonyolult mechanizmus segítségével állandóan továbbadja saját információját más sejteknek.

Néhány további összehasonlítás jól szemlélteti a DNS-molekula roppant nagy tárolási sűrűségét:

a) Gombostűfej DNS-ből: Képzeljük el, hogy olyan sok DNS-anyagunk van, hogy az kitöltene egy két milliméter átmérőjű gombostűfejet. Ha felteszünk a kérdést, hogy hány, egyenként 160 oldalas könyvet lehetne ebben tárolni, a válasz: 15 billió példányt. Ezeket egymásra rakva akkora tornyot kapnánk, amely 500-szor magasabb lenne, mint a hold-föld távolság, ami 384 000 km. Másképpen kifejezve: Ha ezt a könyvmennyiséget szétosztanák a föld összes lakója között (1999 októberében: 6 milliárd ember), akkor mindenki 2500 példányt kapna.

b) Dróthúzás: Képzeljük el, hogy vesszük egy két milliméter átmérőjű gombostűfejet, és egy drótot húzunk belőle, amelynek pontosan annyi az átmérője, mint a DNS-molekulának, nevezetesen két nanométer ($2 \cdot 10^{-9}$ m; két milliomod milliméter). Vajon milyen hosszú lenne ez a drót? Nos, írd és mondd 33-szor érné körbe az egyenlítő, ami 40 000 km hosszú.

c) Egy ezred grammnyi DNS: Ha vennénk egy milligrammnyi DNS-anyagot ($1 \text{ mg} = 10^{-3} \text{ g}$), és ezt az összesodort kötélhágcsót egyetlen szállá bontanánk ki, akkor hossza megfelelné a hold-föld távolságnak!

Az **emberi DNS** esetén különbséget kell tennünk az ivarsejtek (az emberi genom, vagyis örökítő anyag) és a testsejtek között. Az ivarsejtekben (a spermium és a női petesejtek) a DNS-szál összhossza egy-egy méter, 23 kromoszómára felosztva. Ez megfelel $3 \cdot 10^9$ nukleotid-párnak vagy bázis-párnak vagy genetikai betűnek. Az ember testsejtjei két példányban tartalmazzák az öröklési információt – egy készlet az apától, egy készlet pedig az anyától származik. Tehát a testsejtek 26 kromoszómát tartalmaznak, ami két méter DNS-hossznak, ill. $6 \cdot 10^9$ nukleotid-párnak felel meg.

Az emberi genomról

a) Írógéppel leírva: Az ember genomja (génkészlete) három milliárd genetikai betűt tartalmaz. Ha ezeket valaki írógéppel egyetlen sorba írná, akkor ez a betűlánc az északi sarktól az egyenlítőig érne (10 000 km). Ha egy jó

titkárnö percenként 300 leütéssel, évente 220 nyolcórás munkanapon át szakadatlanul gépelné, egész munkás élete kevés lenne hozzá, hogy a végére érjen.

b) Programozási tevékenység: Egy tudományos programozó naponta kb. 40 sornyi programkódot tud produkálni, ha az időt a tervezéstől a rendszerkarbantartásig számítjuk. Ha ez emberi genomban lévő betűk mennyiségét tekintjük, akkor ehhez a programozási feladathoz több mint 8000 programozóra lenne szükség, akik egész szakmai életükön át csak ezen a projekten dolgoznának. Egyetlen emberi programozó sem tudja azonban, hogyan kell megírni ezt a programot, amely egy kiegyenesített DNS-szálon csupán egy méternyi helyet igényel.

c) Térfogat: A kettős spirál alakú DNS-molekulák mint tároló médiumok csupán három milliárdod köbmilliméternyi térfogatot ($3 \cdot 10^{-9} \text{ mm}^3$) igényelnek.

d) A betűk megszámlálása: Szeretnénk szemléletes képet kapni az emberi genomban lévő betűk számáról. Nos, ez háromszor annyi, mint ahány perc eltelt Jézus születése óta, vagyis kb. 2000 év alatt!

e) Emberi genom és zsebkönyvek: Ha az emberi genomban lévő információmennyiséget átszámítjuk (160 oldalas) zsebkönyvekre, akkor 12 000 példányt kapunk.

Ezek az összehasonlító számítások lélegzetelállító módon szemléltették, milyen zseniális tervvel van itt dolgunk az anyagtakarékosságot és a miniatürizálást illetően. Itt valósul meg a legnagyobb ismert (statisztikai) információsűrűség. A modern számítógépek nagy integráltságú memóriái egyelőre messze vannak ettől a tárolási sűrűségtől.

Írási sebesség és hibaarány

A legismertebb baktérium az *Escherichia coli*. Kedvező feltételek mellett a generációs időtartam, vagyis az az idő, amely alatt a tápoldat adott térfogatában a baktériumok száma megduplázódik, csupán 20-25 perc. Mivel egy kóli-baktérium DNS-ében kb. 4 720 000 bázispár van, az átírás sebessége 236 000 bázispár percenként. Az angol Bibliában 3 566 480 betű van. Másképpen kifejezve: Egy kóli-baktérium képes lenne 15 perc alatt „leírni” a teljes Bibliát.

Csodálatra méltó az a pontosság is, amivel az információátvitel (replikáció) történik a DNS-molekulánál. Annak a valószínűsége, hogy egy betű hibásan másolódik le, kevesebb mint egy a milliárdhoz. Hogy ez a hibaarány

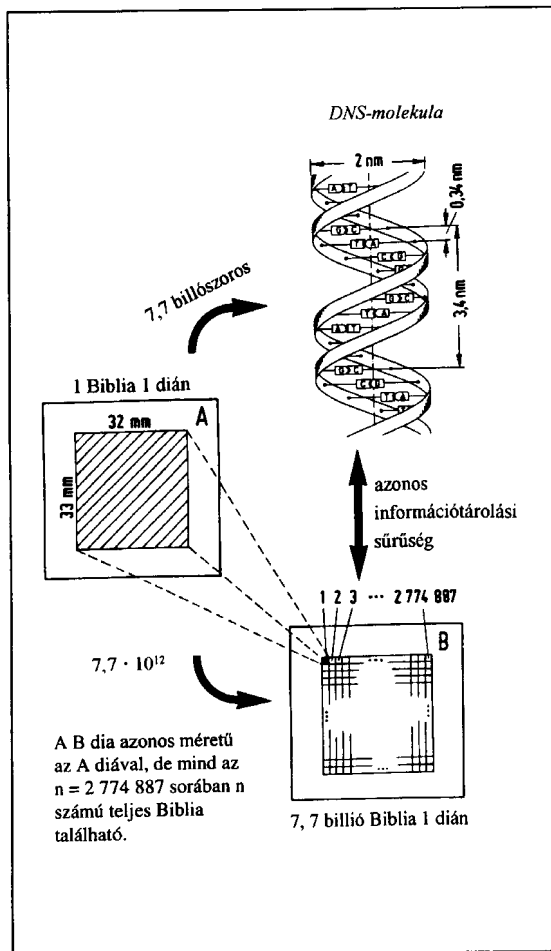
szemléletesebb legyen, képzeljünk el egy irodát, ahol 280 titkárnő dolgozik, és mindegyik leírja egyszer a Bibliát (vagy egy titkárnő írja le 280-szor). A DNS-replikáció pontossága oly rendkívüli, mintha a 280 biblíamásolatban csak egyetlen betű lenne hibás.

Az információsűrűség új mérőszáma

A tároló médiumok sűrűsége ill. a számítógépek chipjeinek integráltsági foka állandóan nőtt az utóbbi években. Idáig hiányzott egy alkalmas mérőszám, ami a különböző technológiák integráltsági fokát számszerűen összehasonlíthatóvá tenné. A szerző ezért azt a javaslatot tette [G12], hogy a mindenkori tárolási sűrűséget viszonyítsák a természetben előforduló legnagyobb (ismert) tárolási sűrűséghez. Ennek értéke – mint azt a fentiekben kiszámítottuk – $\rho_{\text{DNS}} = 1,88 \cdot 10^{18}$ bit/mm³.

Az IBM, a Siemens és a Toshiba által közösen kifejlesztett 256 megabites memóriát 1995-ben mutatták be. Ennek felülete 286 mm². Ha a technológia által megkövetelt 1 mm-es vastagsággal számolunk, akkor e DRAM információsűrűségére $\rho_{\text{DRAM}} = 9,39 \cdot 10^5$ bit/mm² adódik. Az áramlástanból ismerős Mach-számmal ($M = u/v_0$) vagy a relativitáselméletben használt $\beta = v/c$ számmal analógiában, javasoltam a $q = \rho_{\text{tár}} / \rho_{\text{DNS}}$ viszonyszámot mint az **információsűrűség mérőszámát**. A fent említett DRAM esetén $q = \rho_{\text{DRAM}} / \rho_{\text{DNS}} = 5 \cdot 10^{-13}$. Ez a rendkívül kicsi q -érték azt mutatja, hogy a modern computer-technológia még nagyon messze van a természetben megvalósuló tárolási sűrűségtől. Mivel a DNS-molekula méreteit egy pontosan definiálható kristályos állapotban mérik, azok mindenhol reprodukálhatók. Tehát ez a speciális tárolási sűrűség (ρ_{DNS}) természeti állandónak tekinthető.

A jelenlegi fejlettségi szinten q értéke nagyon kicsi. Mivel a leírt mérőszám a maximális értékhez viszonyít, a jövőbeli technológiák számára elég játéktér marad úgy is, ha $0 < q < 1$ mindig teljesül. A javasolt mérőszám lehetővé teszi tetszőleges más adattároló médiumok (pl. CD, mágnesszalagok) integráltsági fokának összehasonlítását is.



43. ábra: Statisztikai információsűrűségek összehasonlítása

A legnagyobb ismert statisztikai információsűrűség a DNS-molekulában található. Ez a zseniális tárolási módszer elmegy a fizikai lehetőségek határáig, nevezetesen le egészen az egyes molekuláig mint információhordozóig, és több mint 10^{21} bit/cm³ tárolási sűrűséget valósít meg. Ez az óriási sűrűség 7,7 billioszorosan múlja felül az A dián levő Bibliáét. Csak akkor érnénk el a minden élő sejtben megvalósuló információsűrűséget, ha sikerülne előállítanunk a B diát (csak gondolatban lehetséges!), amely ugyanazon a felületen 2,77 millió sort és 2,77 millió oszlopot tartalmazna, és az így keletkezett minden egyes kis négyzetben újra elhelyeznénk egy teljes Bibliát.

F2. Energia

F2.1 Az energia mint alapmennyiség

Az „energia” fogalma (gör. *energeia* = hatásosság) az egész fizikában, de a többi természettudományban és a technikában is olyan fontos szerepet játszik, hogy – az információhoz hasonlóan – alapfogalomnak tekinthető. Az információtól eltérően az energia az anyagi világhoz tartozó mennyiség (legalsó szint a 18. ábra hierarchiájában – 7. fejezet). Az energiának számos megjelenési formája van, amelyek közül sokan egymásba alakulhatnak. Sok fizikai folyamat alapjában véve nem jelent mást, mint az energia átalakulását egyik formából egy másikba. Most felsoroljuk a legfontosabb energiatípusokat:

- mechanikai munka (energia),
- potenciális és kinetikus (forgási és translációs) energia,
- a gravitációs, elektromos, mágneses és elektromágneses tér energiája,
- hőenergia,
- elektromos energia,
- az atommag nukleonjainak (protonok és neutronok) kötési energiája,
- kémiai energia,
- a részecskesugárzások energiája (elektronok, protonok, neutronok, stb.),
- a tömeg energia-egyenértéke ($E = mc^2$)

Figyelemre méltó, hogy az élő rendszerekben zajló energiatranszferenciák kivétel nélkül információ-vezéreltek. Feltűnő, hogy a folyamatok vezérlése úgy történik, hogy – fizikai szempontból – minimális energiatranszferenciával működnek. Olyan zseniálisan vannak programozva, hogy technikai utánpótlásuk már a kezdet kezdetén megkezdődik. Ezért itt a függelékben kellő helyet szentelünk néhány kiválasztott rendszernek.

Mind az élettelen, mind az élő rendszerekben zajló folyamatokban teljesül két alapvető törvény, amelyeket a termodinamikában „első főtételnek” ill. „második főtételnek” neveznek.

Első főtétel: Ezt a fontos természeti törvényt – „energiatételnek” vagy „az energiamegmaradás törvényének” is nevezik – *Robert Mayer* német hajóorvos (1814–1879) fogalmazta meg 1842-ben. Azt mondja ki, hogy a megfigyelt világban energia nem keletkezhet és nem is semmisülhet meg. Ez a tétel a többi természettörvényhez hasonlóan nem axióma, hanem tapasztalati tör-

vény (lásd **T1** tétel a 2.3 alfejezetben). Minden kémiai vagy fizikai folyamatban állandó marad a rendszer és környezetének összenergiája, és ezzel az univerzum összenergiája is. Energia tehát nem semmisülhet meg és nem is jöhet létre, csupán átalakulhat. Az energiátételből következik néhány fontos eredmény:

- A természetben csak olyan folyamatok lehetségesek, amelyekben nem változik a résztvevő energiafajta összege. *W. Gerlach* fizikus (1889–1979) ezt a törvényt a következőképpen fogalmazta meg: [R1]: „Az energiamegmaradás törvénye a természettudományban a legfelső rendőrhatalóság szerepét játssza: eldönti, hogy egy gondolatmenet megengedett-e vagy eleve tilos.”
- *Az elsőfajú perpetuum mobile* (örökmozgó) lehetetlensége: Nem építhető olyan gép, amely – ha egyszer mozgásba hozták – vég nélkül működik anélkül, hogy energiát közölnének vele.
- A különböző energiafajta kvantitatívan megfeleltethetők egymásnak (átszámíthatók egymásba). Az effajta energia-ekvivalenciák kísérletileg igazolhatók.

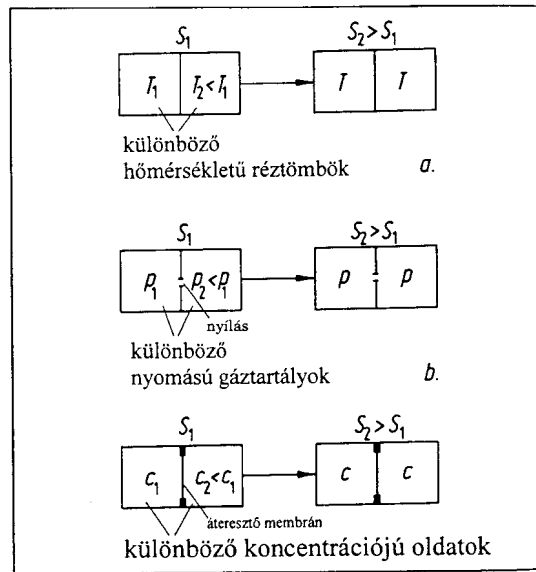
Második főtétel: Míg az első főtétel csak a hőenergia és a mechanikai energia közötti átalakulási viszonyt határozza meg, tekintet nélkül arra, hogy az átalakulás valóban megtörténik-e, a második főtétel a folyamat irányát is meghatározza. A folyamatok maguktól csak az **egyik** irányban mennek végbe, azaz irreverzibilisek (megfordíthatatlanok). Így tapasztalatból tudjuk, hogy egy szigetelő tartályba helyezett hideg és forró réztömb között hőmérsékletkiegyenlítődés jön létre, amelynek során a forró tömb addig ad át energiát a hidegebbnek, amíg hőmérsékletük meg nem egyezik. Ha a szigetelt tartályba két azonos hőmérsékletű tömböt helyezünk, akkor semmi sem történik. Nem mondana ellent az első főtételnek, ha az egyik tömb a másik rovására felmelegedne, csupán az energiavesztésnek és az energianyereségnek kellene kiegyenlítenie egymást.

A második főtétel egy kritériumot szolgáltat, amelynek alapján előre megmondható egy adott energetikai folyamat iránya. A törvény matematikai megfogalmazásához szükség van egy nem túl szemléletes, mégis nagyon jelentős mennyiségre – az **entrópiára** (S). Az entrópia egy extenzív mennyiség, amely hőcsere során mindig változik. Ha a második főtételt (zárt rendszerekre) a tömör $dS \geq 0$ alakban fejezzük ki, akkor ebből a következő tételek vezethetők le:

- Entrópia nem semmisülhet meg, viszont keletkezhet.

- Lehetetlen olyan periodikusan működő gépet szerkeszteni, amelynek egyetlen hatása az, hogy munkát végez és közben lehűt egy hőtartályt. Ez például a következőt jelenti: Az óceán hőtartalmát nem lehet hajók meghajtására használni.
- Hő nem megy át magától egy alacsonyabb hőmérsékletű testről egy magasabb hőmérsékletűre (*R. Clausius*, 1850).
- *A másodfajú perpetuum mobile* lehetetlensége: A természetben nem valósulhat meg olyan folyamat, amelynek során nem történik más, csupán az entrópia csökken.

J. Meixnertől származik a következő közérthető megfogalmazás [M2]: „A természeti folyamatok óriási gyárában az entrópia-termelés játssza az igazgató szerepét, hiszen ő írja elő az egész üzletmenet módját és lefolyását. Az energiátörvény csupán a könyvelő szerepét játssza, mivel ő biztosítja a kiadás és a bevétel egyensúlyát.”



44. ábra: Három folyamat zárt rendszerekben:

- Két különböző hőmérsékletű réztömb hőmérséklete idővel kiegyenlítődik.
- A kezdetben különböző nyomású tartályok nyomása a nyíláson keresztül gyorsan kiegyenlítődik.
- Két különböző koncentrációjú sóoldat egy áteresztő membránon keresztül kicseréli a sótartalmát.

Mind a három folyamatban közös, hogy a végállapotoknak nagyobb az entrópiája, mint a kezdeti állapotoknak ($S_2 > S_1$).

Munkavégző képesség: Fontos fogalom egy rendszer munkavégző képessége. A munka teljesen hővé alakítható, míg a fordított folyamat, vagyis a teljes hő munkává alakítása elvileg lehetetlen. Az energiaátalakulás aszimmetriája a második főtétel egyik legfontosabb állítása. Ezenkívül a tétel azt is kifejezi, hogy a zárt rendszerek olyan állapotra törekszenek, amelyet a munkaképes energia minimuma és az entrópia maximuma jellemez. Az entrópia-változás tehát felfogható mint a folyamat irreverzibilitásának mértéke. Minél inkább meg lehet akadályozni egy folyamatban az entrópia növekedését, annál inkább felhasználható az energia munkavégzésre. A potenciális és kinetikus energia, de az elektromos energia is (majdnem) reverzibilisen (azaz megfordíthatóan, tehát teljesen) egymásba és így munkává alakítható. A hőenergiát azonban elvileg nem lehet teljesen, csak részben mechanikai vagy másfajta energiává alakítani. Lehetetlen nagyobb hányadát átalakítani, mint az ideális *Carnot-gép* (reverzibilis *Carnot*-féle körfolyamat) hatásfoka: $\eta = (T_1 - T_2) / T_2$ (lásd még 2.5 alfejezet). Az energia erre a „munkavégzésre” használható, termodinamikailag lehetséges hányadát a világos megkülönböztetés érdekében **exergianak** nevezik. Az a tény, hogy egy hőerőgépnél elvileg nem érhető el nagyobb η_c hatásfok, közvetlenül levezethető a második főtételből. Amint később látni fogjuk, az élő szervezeteknek nagyobb a hatásfoka (a befektetett energiára vonatkoztatott mechanikai munkavégzés), mint a maximális termikus hatásfoknak a második főtételből következő értéke. Ez nem mond ellent ennek a természeti törvénynek, hanem a Teremtőt dicséri, aki a hőerőgépet megkerülve olyan működési elvet valósított meg, amelynél a kémiai energia az izomban közvetlenül mechanikai energiává alakul.

Szögezzük le: Az entrópia-tétel alapján kizárható minden olyan folyamat, amely ugyan az energiatétel szerint lehetséges, de entrópia-csökkenéssel járna. Az entrópia ily módon az egész fizika egyik legfontosabb fogalmának bizonyul.

Entrópia és rendezetlenség? Számos értekezésben hoznak fel ismételt példákat arra, hogyan nő az entrópia növekedésével a vizsgált rendszer rendezetlensége, azaz csökken a rendezettsége. Ezt a gondolatmenetet sajnos a biológiai rendszerekre is kiterjesztették. A valóságos helyzet ilyenén leegyszerűsítése ellen a következő érvek hozhatók fel:

- A biológiai folyamatok nem zárt, hanem nyitott rendszerekben játszódnak le. Ilyenkor a második főtétel megengedi az entrópia-csökkenést, ha azt

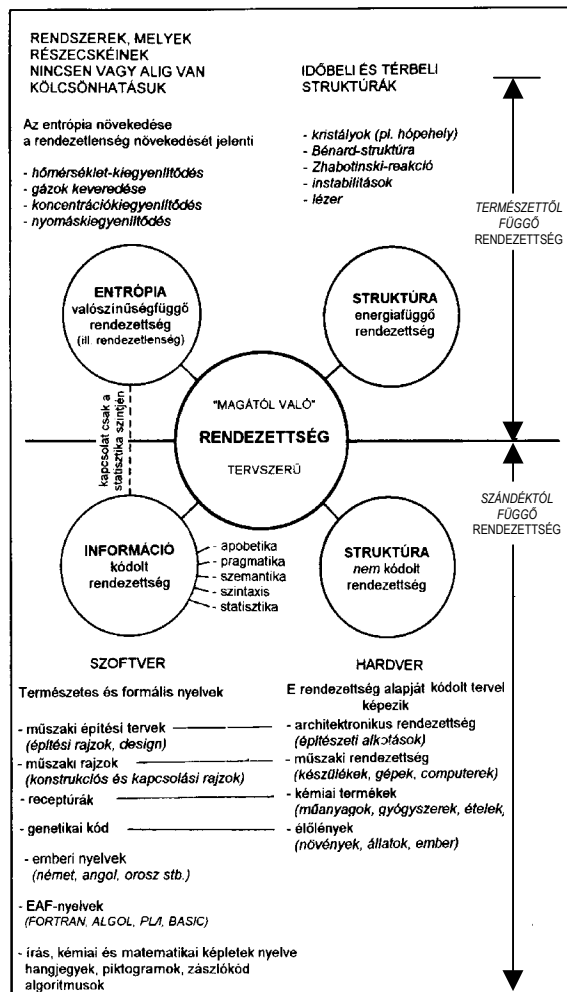
legalábbis kompenzálja a környezetnek leadott entrópia. Csupán az entrópia megsemmisülése kizárt.

- Az entrópia és a rendezettség között már csak azért sincs összefüggés, mert a természettudományokban a rendezettség nem írható le matematikai képletek segítségével, míg az entrópia fizikailag egyértelműen definiálható mennyiség. A szerző első ízben vállalkozott a rendezettség fogalmának osztályozására [G6]. A 45. ábra összefoglalja a rendezettség különböző fajtáit.
- A kiválasztott példák, amelyekben az entrópia és a rendezetlenség korrelálni látszanak, kivétel nélkül olyan rendszerek, amelyekben a részecskék nem mutatnak kölcsönhatást. Az ilyen rendszereknek azonban nincs jelentőségük a biológiai struktúrák szempontjából, hiszen azokban kémiai reakciók ezrei játszódnak le nagyon kis térfogatban.
- A biológiai rendezettség a minden sejtben jelenlévő információ alapul, amelynek minőségi és mennyiségi jellemzőiről már fogalmat alkothattunk (11. fejezet és F1.2.3).

A watt-tenger struktúrája, ahogy apálykor a partoknál megjelenik, bizonyos rendezettséget mutat, amely energetikai folyamatok révén alakul ki (46. ábra). E rendezettség mögött nincs semmilyen kód és így szándék sem, tehát nem tárolható.

2.2 Az energia kinyerése: a maximumra törekvés stratégiája

Az energia kinyerésénél, az energia átalakításához hasonlóan, az egyik energiafajtának egy másikba való átalakulásáról van szó. Az energia kinyerésénél az a cél, hogy a maximálisan kihasználjuk a rendelkezésre álló energiaforrást. Az alkalmazott eljárásban maximális határfokra törekszenek, röviden: a *maximumra törekvés stratégiájáról* van szó. Ezt az elvet a következő alfejezetekben technikai és biológiai rendszerek példáin keresztül tárgyaljuk. Az energia felhasználásánál ezzel szemben ellentétes stratégiát követnek – a minimumra törekvés stratégiáját: olyan takarékosan bánni a rendelkezésre álló tüzelőanyaggal, amennyire csak lehetséges. A szükséges munkát a felhasznált energiahordozók minimális mennyiségével kell elvégezni. Az F2.3 alfejezetből megtudhatjuk, milyen zseniális módon és milyen sikeresen érik el ezt a célt a biológiai rendszerek.



45. ábra: A rendezettség négy fajtája:

A rendszereket jellemző „rendezettség” nem írható le matematikailag, csak verbálisan. Megkülönböztetünk természettörvény-függő és szándékfüggő rendezettséget. A fizikai rendszerekben képződő struktúrák csak addig maradnak fenn, amíg hatnak az őket létrehozó gradiensek (pl. hőmérsékletkülönbség). Ezek a rendezettségek nem tárolhatók, így nem is utalnak egy lehetséges evolúcióra. A kép alsó részén olyan rendezett rendszerek vannak felsorolva, amelyek kivétel nélkül valamilyen terven alapszanak. Vagy információról van szó, vagy információ alapján keletkezett struktúrákról.



46. ábra: Példa az energiafüggő struktúrákra és a nem kódoláson alapuló rendezettségre: egy watt-tenger barázdái

F2.2.1 Energiakinyerés a technikai rendszerekben

Az emberi találékonyosság számos energiakinyerési elvet ötlött ki. Az átalakítási folyamat a legtöbb esetben több energiaformán keresztül zajlik, a primer energiaforrástól a fogyasztóig. Egy tüzelőanyag kémiai energiáját termikus, ezt mechanikai, majd ezt elektromos energiává alakítják (hőerőmű). A motorban az üzemanyag kémiai energiája a keletkezett hő által kiváltott gáztágulás révén mechanikai energiává alakul. Az izzólámpa elektromos energiát alakít hőenergiává, majd ezt fényenergiává. Mindezek az átalakulási folyamatok veszteséggel járnak. A kinyert és a betáplált energia arányát nevezzük hatásfoknak. A legmodernebb hőerőművek hatásfoka is csak 40%, azaz a szén energiájának 60%-a elvész az energiahasznosítás számára.

Németországban 1999-ben összesen 552,5 TWh energiát termeltek [F2, 1207]. Ebből körülbelül 1% jutott a szélre, 1,1% a napra és a biomasszára, 4,3% a vízre, 30,7% a nukleáris energiára, a maradék pedig a hőerőművekre (kő- és barnaszén 50,5%, a maradék: földgáz, fűtőolaj, egyéb fűtőanyagok). A csak korlátozottan rendelkezésre álló vízenergián kívül az összes technikai úton nyert energiát hő közbeiktatásával, tehát rossz hatásfokkal termelik.

Közvetlen energiaátalakítás: A technika területén komoly erőfeszítéseket tesznek az energia közvetlen, közbenső forma (hő) nélküli átalakításának a kidolgozására. Ezek közé az erőfeszítések közé tartoznak a tüzelőanyag-elemek, a magneto-hidrodinamikai generátorok, valamint a foto-elektromos elemek. Az utóbbiaknak nagyon alacsony (kb. 10%) a hatásfoka, a többi eljárás pedig technikailag még éretlen.

A **naperőművek** (gőztermelés homorú tükrök segítségével, utána áramfejlesztő turbinák) még Európa napos déli országaiban is körülbelül 26 000 m² tükörfelületet igényelnek (= 2,5 futballpálya) 1 GWh/év (= 1 millió kilowattóra évenként) előállításához [X1]. Ez körülbelül 350 háztartás áramellátását biztosítja. Ha egy 1300 megawattos atomerőmű teljesítményét szeretnénk elérni, egy 68 négyzetkilométeres területet kellene tükrökkel borítani, ami egy 150 000 lakosú nagyváros területének felel meg.

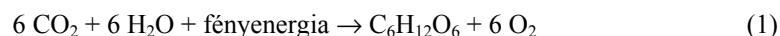
A **szélerőműveknek** szintén kicsi a nyereségük és nagy a helyigényük. Egy 1300 megawattos atomerőmű teljesítményének eléréséhez 800-900 darab 150 méter magas szélerőműre lenne szükség. Ehhez 80 kilométerre lenne szükség, ha a szélerőműveket négy, egymástól 400 méter távolságra lévő láncban rendeznénk el. Egy 1 MW-os berendezés kedvező esetben kb. 2000 MWh/a energiát szolgáltat, és a Németországban elhasznált elektromos energia 1 százalékának előállításához 2500 ilyen berendezésre lenne szükség, nem beszélve a velük járó kedvezőtlen tájváltozásokkal. Ha ezek a tornyok a tengerpart mentén sorakoznának, akkor Hollandiától a dán határig érnének.

[És akkor még nem szóltunk arról a legújabb felismerésről, hogy a szélerőművek kedvezőtlen klimatikus változásokat idézhetnek elő.]

F.2.2.2 Energiakinyerés a biológiai rendszerekben (fotoszintézis)

A fotoszintézis az egyetlen folyamat a természetben, amelynek során nagyobb mennyiségű napenergia tárolódik. Ez az az alapvető energiakinyerési folyamat, amely lehetővé teszi a növények növekedését és szaporodását, amennyiben rendelkezésre áll kellő mennyiségű széndioxid (CO₂), víz (H₂O) és csekély mennyiségben bizonyos ásványi anyagok. A zöld növény által termelt szerves anyagok jelentik a primer táplálék- és energiaforrást az összes fotoszintézisre nem képes *heterotróf*¹ szervezet számára. Joggal állíthatjuk, hogy a fotoszintézis minden földi életfolyamat és energiatermelés alapvető forrása. Az összes fosszilis tüzelő- és nyersanyag (kő- és barnaszén, kőolaj, földgáz) korábbi korok biomasszájából, tehát végső soron a fotoszintézisből származik.

Az egyszerű, energiaszegény anyagokból komplexebb, energiában gazdag anyagok épülnek fel. Az oxidációs/redukciós folyamatokban általában egy erős oxidálószer oxidál egy erős redukálószer. A fotoszintézisnél ezzel szemben egy gyenge oxidálószer (CO₂) oxidál egy gyenge redukálószer (H₂O), amelynek során egy erős oxidálószer (O₂) és egy erős redukálószer (szénhidrát) keletkezik. Ahhoz, hogy ez lehetséges legyen, külső energiára van szükség. Ezt az energiát a napfény biztosítja. E folyamat működéséhez olyan anyagra van szükség, amely képes elnyelni a fénykvantumokat, az elnyelt energiát más molekuláknak átadni, majd visszatérni az alapállapotba, hogy újabb fénykvantumokat nyelhessen el. Ezt a bonyolult feladatot a *klorofill* látja el. Öt különböző klorofilltípus van (a, b, c, d és f), amelyek csak kevésbé térnek el kémiai struktúrájukban. Az a és b típus a legfontosabb, mivel ezek fordulnak elő a magasabb rendű növényekben és a zöld algákban. A fotoszintézis reakciójának mérlegegyenlete a következő:



A fényenergia felhasználásával a CO₂-ből és a H₂O-ból glukóz szintetizálódik. Csak egy részfolyamatban fogódik be fényenergia és alakul át kémiai energiává. Ezeket az első reakciókat ezért *fényreakcióknak* nevezik. Az összes többi reakció, amelynek során kémiai energia felhasználásával glukóz

¹ A **heterotróf sejtek** olyan sejtek, amelyek a makro-molekuláris kémiai kötések felépítéséhez és az ehhez szükséges energiához komplex tápanyagokat (pl. glukóz, aminosavak) igényelnek. Ezzel szemben a fotoszintetikusan aktív fototróf sejtek képesek a fényenergiát tárolható kémiai energiává alakítani.

szintetizálódik, fény távollétében is végbemehet, ezért ezeket *sötét reakcióknak* nevezik.

A fényelnyelő képesség anyagoként erősen változik. A víznél ez az abszorpciós effektus nagyon gyenge, ezért színtelennek látszik. Egy anyag jellegzetes színe azáltal jön létre, hogy bizonyos hullámhossztartományban nagyon erősen abszorbeál. Ha egy diagramon ábrázoljuk az abszorpció fokát a hullámhossz függvényében, megkapjuk az abszorpciós spektrumot. A klorofill-a pigment a „fehér” napfény teljes spektrumából csak a kék (400-450 nm) és a vörös (640-660 nm) sugárzást nyeli el. Ennek következtében a klorofill-oldat által kibocsátott fény zöldnek látszik. Egy folyamat hatásfokának változását a hullámhossz függvényében akcióspektrumnak nevezzük. Figyelemre méltó, milyen jól egyezik a klorofill abszorpciós spektruma és a fotoszintézis akcióspektruma. Ez azt mutatja, hogy ennek az életfontosságú folyamatnak egy finoman összehangolt koncepció képezi az alapját. Ugyanebbe az irányba mutat, ha kiszámítjuk a zseniális találmány hatásfokát.

A fotoszintézis hatásfoka: Az (1) egyenlet alapján 6 mól² CO₂-ből éppen 1 mól glukóz képződik, amihez 2872,1 kJ energia szükséges. Egy mól CO₂-re vonatkoztatva ez 478,7 kJ-t jelent. Mivel minden energiaátalakulás veszteséggel jár, a valódi energiaigény ennél nagyobb. Noha a vörös fény kvantumainak kisebb az energiája (kb. 2 eV/fénykvantum), mint a kék fénykvantumoké (kb. 3 eV/fénykvantum), az eltérő hatásfok miatt mindkettő körülbelül ugyanannyi fotokémiai munkát végez. Mint azt kísérletileg kimutatták, CO₂-molekulánként 8-10 fénykvantum szükséges. 1 mól vörös fénykvantum (= $6,022 \cdot 10^{23}$ fénykvantum)³ energiája 171,7 kJ. 9 mól vörös fénykvantum (8 és 10 átlaga) energiatartalma $9 \cdot 171,7 = 1545,3$ kJ. A η hatásfok úgy adódik, hogy az 1 mól CO₂ asszimilációjához szükséges elméleti energiaigényt

² **Egy mól (1 mól)** az anyag annyi grammja, amennyi a molekulásúlya (más néven relatív molekulatömege). A molekulásúly egy dimenzió nélküli viszonyszám, amely a molekulát felépítő atomok atomsúlyainak összegeként adódik. Példa: a CO₂ molekulásúlya = $12 + 2 \cdot 16 = 44$, tehát 1 mól CO₂ = 44 mól. Érdekes módon az egy mólban található molekulák száma minden anyagra ugyanaz, nevezetesen $(6,022 \cdot 10^{23} \pm 0,000 \cdot 0036) \cdot 10^{23}$. Ezt a számot *Avogadro-számnak* (N_A), ill. a német irodalomban gyakran *Loschmidt-számnak* (L) nevezik. N_A alapvető természeti állandó.

³ **Fénykvantumok energia-egyenértéke:** A *Stark-Einstein törvénynek* (kvantum-egyenérték törvény) megfelelően a primer fotokémiai reakcióban egy $h \cdot \nu$ energiájú abszorbeált foton (h a *Planck*-féle hatáskvantum, ν a fény frekvenciája) csak egy molekulát gerjeszthet. Mivel minden anyag egy mólja $6,022 \cdot 10^{23}$ molekulából áll, gerjesztéséhez vagy átalakításához $E = 6,022 \cdot 10^{23} \cdot h \cdot \nu$ energiára van szükség. Ezt az energiát fotokémiai egyenértéknek (= „1 einstein” vagy „1 mól-kvantum”) nevezik. A fénykvantumok (fotonok) energia-egyenértéke nem állandó, hanem függ a $\lambda = c/\nu$ hullámhossztól és célszerűen moláris egységekben adják meg. Az egy „mólban” található fotonok száma tehát azonos az N_A Avogadro-számmal.

(478,7 kJ) elosztjuk a szükséges vörös fény valódi energiartalmával (1545,3 kJ):

$$\eta_{\text{vörös}} = 478,7/1545,3 \cdot 100\% = 31\%$$

A kék fény kvantumainak energiartartalma 272,1 kJ/mól, amiből hasonló számítással $\eta_{\text{kék}} = 20\%$ adódik.

A fotoszintézis mennyisége: A növények teljesítménye nem csak minőségileg, de mennyiségileg is lenyűgöző. *S. Scherer* adatai szerint [S4] egyetlen tölgyfa (kora 115 év, 200 000 levél, 1200 m² levélfelület, 180 g klorofill) egy napfényes nyári napon 12 kg szénhidrátot épít fel és ennek során 9400 liter CO₂-t asszimilál 36 000 m³ levegőből. 9400 liter O₂ termelésével tehát 45 000 liter levegőt regenerál. A világon évente $2 \cdot 10^{11}$ tonna biomassza termelődik fotoszintézis által [F5]. Ez kerekén 10¹⁴ watt-év (= $3,15 \cdot 10^{21}$ Ws) fűtőértéknek felel meg. Az emberiség évi közvetlen élelmiszerfogyasztása 0,4 TWa (= $1,26 \cdot 10^{19}$ Ws) körül van, az állatoké 0,6 TWa körül. A kettő együtt a föld biomassza-termelésének éppen egy százalékát teszi ki.

Lélegzés: Lélegzéskor egy a fotoszintézissel ellentétes folyamat zajlik, amelynek során energia szabadul fel. A földön a két folyamat ökológiai egyensúlyban van, úgyhogy emberi beavatkozás nélkül (pl. ipar) a levegő összetétele állandó marad. Egyébként a fotoszintézis és a lélegzés mechanizmusa meglepő hasonlóságot mutat. A résztvevő anyagok ugyanabba a kémiai osztályba tartoznak. Így a klorofillmolekula a lélegzésben fontos szerepet játszó vérfestékhez hasonlóan kémiailag négy pirol-gyűrűből épül föl, amelyek egy központi atom körül rendeződnek el: magnézium a klorofillnál és vas a vérfestéknél. Mindkét folyamat folyékony struktúrákon, az ún. lipid-membránokon zajlik. Kézenfekvő a következtetés: Mindkét folyamat egy zseniális koncepción alapul, amely ezeket nagyon gondosan összehangolta. Az evolutív keletkezést már csak azért is ki kell zárni, mivel különböző helyeken „véletlenül” nem jöhetett létre két ilyen hasonló jelenség, amelyek ráadásul ilyen meglepő tökéletességet mutatnak.

Következtetés: A kutatásnak a mai napig nem sikerült felderítenie a fotoszintézis mögött rejlő molekuláris mechanizmusok elképzelhetetlen komplexitását. Ugyanez vonatkozik a lélegzés folyamatára. Ne tévesszen meg minket a mérlegegyenletek és egyes közbeeső enzimvezérlésű részfolyamatok ismerete, hiszen összehasonlíthatatlanul több az ismeretlen összefüggés, mint a már felderített. *A. L. Lehninger* bioenergetikus ezt a sok tisztázatlan kérdést „a legizgalmasabb biológiai problémák” közé sorolja [L1]. A napfény technikai eszközökkel történő közvetlen átalakítása kémiai üzemanyaggá minden

napenergia-mérnök álma. **A fotoszintézis folyamatát a legleleményesebb mérnököknek, vegyésznek vagy eljárás-technikusnak sem sikerült leutánoznia**, mégis zseniális módon mindegyik növény megvalósítja a leveleiben. Minden fototróf sejt rendelkezik a szükséges információval egy ilyen optimális energiaátalakítási folyamat megvalósításához.

F2.3 Energiafogyasztás a biológiai rendszerekben: a minimumra törekvés stratégiája

Minden sejtnek állandóan energiára van szüksége, hogy az életfontosságú folyamatok (pl. új molekulák szintézise, új leány/utód-sejtek előállítás) lehetővé váljanak. A soksejtű szervezetekben ehhez még további reakciók jönnek (pl. haladó mozgás, a testhőmérséklet fenntartása). Mindegyik sejt, legyen akár állati, növényi vagy mikrobasejt, ugyanazon alapelvek és mechanizmusok alapján alakítja át az energiát. A technikával ellentétben az élő szervezet elkerüli a rossz hatásfokot jelentő hő közbeiktatását. A sejt folyamatai izotermek, azaz állandó hőmérsékleten zajlanak.

Az energiatermelés elve: Hangsúlyozni kell, hogy az oxidációs folyamatban energiahordozóként szolgáló tápanyag-molekulák az energiát nem hő formájában adják le. A biológiai oxidáció molekuláris elve energiagazdálkodási okokból arra épül, hogy katalitikus úton és egész enzimpláncokon keresztül egy sok egyedi reakcióból álló és pontosan összehangolt reakciósorozat megy végbe, amelynek számos mellékterméke van. A főszerepet a különleges kémiai-energetikai tulajdonságokkal rendelkező adenzin-trifoszfát (ATP) játssza, amely a nukleotidok csoportjába tartozik (összetevői: adenin, C₅-cukor, D-ribóz és foszfátcsoportok). A tápanyagok oxidációjának energiatermelő folyamata során az adenzin-difoszfátból (ADP) adenzin-trifoszfát (ATP) képződik, amely energiában gazdagabb. Az ATP-molekula által ilyen módon felvett kémiai energia a továbbiakban kémiai (pl. fotoszintézis), mechanikai (pl. izommunka) vagy ozmotikus munkaként (transzportmunka) hasznosítható. Ennek során elvész az ATP egyik foszfátcsoportja és ismét ADP keletkezik. Ebben az energiatranszport-rendszerben tehát az ATP a feltöltött és az ADP a kisültött forma. Az ATP/ADP körfolyamat számos bonyolult kémiai közbeeső termékét meghatározott enzimrepertoár katalizálja. Emellett az általános biológiai energiaáramlás mellett az energiaátalakításnak különleges egyedi mechanizmusai is vannak.

Az elektromos halak (pl. zsibbasztó rája, villamos harcsa, villamos angolna) több száz voltos áramütésekre képesek, amelyek kémiai energiából szár-

maznak. A lumineszkáló állatok fénye kémiai energia fényenergiává való alakításával keletkezik. A pöfögő futrinka a hidrogénperoxid kémiai energiáját alakítja át nyomási/térfogati energiává.

Az ember által konstruált energiatermelő gépek lényegében olyan folyamatokon alapulnak, amelyekben hő közbeiktatásával szállításra alkalmas elektromos energia keletkezik. A hő (Q) csak akkor képes munkát (W) végezni, ha hőmérsékletkülönbség ($T_2 - T_1$) áll fenn. Egy hőerőgép által (elméletileg!) végezhető maximális munkát a következő képlet adja meg (*Carnot*-körfolyamat):

$$W = Q \cdot (T_2 - T_1)/T_2$$

T_2 például lehet egy gőzturbinánál a gőz bemenő, T_1 pedig a kimenő hőmérséklete. Ebből látható, hogy valamennyire is használható hatásfok eléréséhez nagyon nagy hőmérsékletkülönbségre van szükség. Az élő sejtben az energiatermelő folyamatoknak elvileg különbözniük kell, mivel az összes folyamat a sejt hőmérsékletén, azaz izoterm körülmények között zajlik. Az ott megvalósuló rafinált energiatermelési eljárás hőálló anyagok nélkül működik, mégis rendkívül magas hatásfokot ér el.

A sejtek: Az élő sejtek egy olyan gyárhoz hasonlíthatók, amely több üzemből áll, amelyek mindegyikében bizonyos számú gép van.

Az üzemek munkája egy minden részletében átgondolt terv szerint van összehangolva, úgyhogy a végtermékek számos részfolyamat összekapcsolásával jönnek létre. Joggal mondhatjuk, hogy a világ legkisebb teljesen automatizált gyártósoráról van szó, amelynek magától értetődően saját számítóközpontja és erőműve (mitokondriumok) van. A legkisebb sejteik a prokariotáknak vannak (sugaruk 100 nm), a legnagyobb térfogatú sejtek pedig a madártojások. A legnagyobb sejt a strucctojás, amelynek sugara 0,1 m = 10^8 nm. A soksejtű szervezetek sejteinek közepes sugara 2000 nm és 20 000 nm között van (= 2-20 μ m). A nagyméretű élőlények rendkívül sok sejtből állnak (az embernél kb. 10^{14}), a legkisebbek pedig (pl. baktériumok) csupán egyetlen sejtből. Strukturális szerveződésük szerint a sejtek két nagy osztályát különböztetjük meg: prokariotikus (gör. *kariön* = mag, dió, mogyoró) és eukariotikus (gör. *eu* = jó) sejtek. Az *eukariotákhoz* tartozik sok egysejtű szervezet, mint az élesztőgombák, a protozoák, az egysejtű algák, valamint majdnem minden többsejtű szervezet. Mindnyájan tartalmaznak sejtmagot, mitokondriumot és endoplazmatikus retikulumot. A *prokariotákhoz* tartoznak a baktériumok és a kékalgák. Az eukariotákhoz viszonyítva jóval kisebbek (térfogatuk csupán 1/5000 része azokénak), kevésbé differenciálódtak és specializálódtak, és hiányzanak belőlük bizonyos struktúrák (pl. sejtmag, mitokondriumok).

Összefoglalás: A fenti megfontolások alapján a következőképpen foglalhatjuk össze az élő szervezetekben folyó energiatermelés lényegét, a technikai folyamatoktól elvileg különböző tulajdonságait:

1. *Izoterm energiaátalakítás:* Az energetikai folyamatok állandó hőmérsékleten (izoterm módon), nyomáson és térfogaton zajlanak és ilymódon megkerülik a hőnek a technikában szokásos közbeiktatását, aminek rossz a hatásfoka.

2. *A lehetséges legnagyobb mértékű miniaturizálás:* A sejtben utánozhatatlan módon megvalósul a technika fő célja, a készülékek miniaturizálása: A szervezet energiatermelő és -felhasználó folyamatai molekuláris szinten kapcsolódnak. Joggal beszélhetünk „molekuláris gépekről”, amelyek elérik a fizikailag lehetséges legalsó mérethatárt.

3. *Optimális működés:* Az emberi test körülbelül tízbillió (10^{13}) izomsejt-jének mindegyike rendelkezik egy saját decentralizált „erőművel”. Ezek igény szerint üzembe helyezhetők és ezáltal rendkívül gazdaságosan használják fel az energiahordozót.

4. *Közvetett energiaátalakítás:* Az energiák felhasználása nem közvetlen. Az energiatermelő folyamat és az energiafogyasztó reakció között ott van az ATP-rendszer, mint az energiaátvitelt biztosító összekötő elem. Az energiában gazdag ATP nem energiátároló, hanem energiaátviteli rendszer. Az ATP által meghajtott energiaigényes folyamatok nagyon különböző típusúak lehetnek: Az izmok összehúzódásakor *mechanikai* munkát végeznek, némely állat elektromos szerveiben *elektromos* munkát, az anyagok felvételekor és szállításakor *ozmotikus* munkát, sok esetben pedig *kémiai* munkát. Mindezen folyamatok egy terjedelmes anyagcserelánc részei, amelyet egy rendkívül komplex enzimrendszer valósít meg, ennek működését pedig sokszor egyáltalán nem értjük.

5. *Nagy hatásfok:* A lélegzés folyamata (a glukóztól a CO_2 -ig és H_2O -ig) az erjedéssel ellentétben (a glukóztól a tejsavig) rendkívül hatékony folyamat, amelynek során a glukózban rejlő teljes energia felszabadul. Ha megvizsgáljuk az elektrontranszport energetikáját, azt találjuk, hogy 91 %-os a hatásfoka, ami az emberi technikában utópisztikusan magasnak tűnik. Ez a bámulatos eredmény egy zseniálisan strukturált rendszer segítségével érhető el, amelynél folyamatosan megvalósul a „közös közbenső termék elve az energiaátvitel során”. Az ATP az összekötő elem az energiatermelő és -fogyasztó reakciók között, azaz a sejtben létezik egy egységes és konvertibilis valuta. Az energiatermelő folyamatok bekasszírozzák ezt a „pénzt”, az energiafogyasztó folyamatok pedig elköltik. Mivel az energiatermés az

ATP-rendszer zsilipeli, a sejt ezenkívül rendelkezik egy energiaáramlást vezérlő mechanizmussal is.

A biológiai energiaellátó rendszerben tehát egy olyan zseniálisan kidolgozott tervvel van dolgunk, amely minden energetikust bámulatba ejthet. Senki sem képes leutánozni ezt a végsőkig miniaturizált és rendkívül gazdaságosan működő rendszert.

F2.4 Energiatakarékosság a biológiai rendszerekben

Alfred Gierer tübingeni fizikus mondta a fizika és a biológia viszonyáról [G2]: „A fizika a legáltalánosabb természettudomány, minden eseményre alkalmazható térben és időben, míg a biológia a legkomplexebb és egyben a leginkább saját magunkra vonatkozó természettudomány.” Ezzel kapcsolatban felmerül néhány fontos kérdés: Vannak-e olyan folyamatok az élőlényekben, amelyek esetén nem érvényesek a fizika és a kémia törvényszerűségei? Egy élőlény vajon nem különbözik-e elvileg egy géptől? Létezik-e a biológiának fizikai megalapozása? A válaszhoz két dolgot gondosan meg kell különböztetnünk:

1. Folyamat: Minden biológiai folyamat szigorúan a fizika és a kémia törvényei szerint zajlik (lásd **T2**, **T3** és **T4** törvények a 2.3 alfejezetben). Ezek azonban csak az események külső keretét szolgálják és általában korlátozó szerepük van. További korlátozást jelentenek a peremfeltételek (környezet). Ezenkívül az összes biológiai funkcionál döntő a minden élőlény sajátját képező üzemelési információ (a definíciót lásd a 12. fejezetben). Kivétel nélkül minden folyamat programvezérelt.

2. Eredet: Mint ahogy a dugóhúzótól a computerig a gépek sem magyarázhatók egyedül a természeti törvények és a környezeti feltételek ismeretében, ugyanúgy minden biológia rendszer is feltételez egy ötletadót, egy feltalálót, egy konstruktort. Minden műszaki alkotónak ismernie kell a fizikai törvényeket, hogy ezeknek a részben korlátozó, részben kihasználható feltételeknek a betartásával alkalmas konstrukciókat szerkeszthessen. Zsenialitása leginkább azokban a gépekben nyilvánul meg, amelyeknél – összes konstruktív és építőművészeti ötletének bedobásával – olyan ügyesen használja ki a természeti törvényeket, hogy optimális megoldásokra jut. Ugyanez a helyzet a biológiai rendszerek teremtőjével. Milyen csodálatosan tükröződik öltgazdagsága és kifürkészhetetlen bölcsessége az élő rendszerekben!

Noha a fizikai törvények képezik az élőlényekben zajló biológiai folyamatok keretfeltételeit, nem elégségesek a jelenségek komplexitásának,

struktúra- és funkciógazdagságának magyarázatához. Aki tisztán materiális alapon tárgyalja még az eredet kérdéseit és a lelki folyamatokat is, az mechanisztikus redukciót végez, ami teljesen alkalmatlan az élet valóságának megragadására.

A következőkben néhány példán keresztül közelebről megvizsgáljuk azt a hihetetlen ötletgazdagságot, amely gyakran a fizikai lehetőségek határáig kihasználja a természeti törvényeket.

F2.4.1 Az állati „klorofill”

A fotoszintézist olyan zseniális találmányként ismertük meg, amely a napenergiát energiaforrás előállítására használja. Három olyan állatfajt ismerünk [D5], amelyeknél ez az információvezérelt folyamat „be van építve”, nevezetesen a homoki csigát (*Tridachia crispata*), a Normandia és Bretagne partjainál élő, három milliméter hosszú örvényférget (*Convoluta roscoffensis*) és a mikroszkopikus zöld papucsállatkát (*Paramecium bursaria*).

A Jamaica körüli vizekben élő homoki csiga normális körülmények között tengeri moszatokkal táplálkozik, de akkor sem pusztul éhen, ha kifogy ebből a táplálékból. A korábbi étkezések alkalmával elfogyasztott klorofillt nem emésztí meg teljesen, hanem sértetlen kloroplasztok formájában tárolja a hátán lévő levélszerű bolyhokban. Ennek során a növényi szervecskék teljesen működőképesek maradnak. Napfényben ezek a fotoszintézishez hasonlóan cukrot termelnek, amely energiaforrásként szolgál a csiga testében. Joggal állíthatjuk:

- Az állat kölcsönveszi a növénytől annak kémiai gyárát az információvezérléssel együtt és ezáltal úgyszólván maga is növénné változik.
- Ez a csiga olyan táplálékot fogyaszt, amely aztán újabb táplálékot termel. E bámulatba ejtő mechanizmus segítségével hat hétig képes táplálékfelvétel nélkül élni, ha süt a nap.

Azonnal megoldódnának az emberiség ellátási problémái, ha tudnánk, hogyan csinálják ezek az állatok. A fotoszintézis azonban egy olyan zseniális információvezérelt folyamat, amelynek megértésétől még távol vagyunk és amelyet kemotechnikailag aligha tudnánk leutánozni. Eddig még a klorofill szervecskéinek, a kloroplasztoknak a működőképesen tartása sem sikerült a levélsejteken kívül.

F2.4.2 A világító állatok „lámpásai”

Számos tengeri és alsóbbrendű szárazföldi állat (pl. szentjánosbogár) mutat egy energetikai szempontból rendkívül érdekes jelenséget, a biolumineszcen-

ciát (lat. *lumen* = fény). Ezek az állatok különböző színű (vörös, sárga, zöld, kék vagy ibolya) és jelalakú fény kibocsátására képesek. Ha a fényelőállítás technikai módszereit összehasonlítjuk a biolumineszcenciával, az előbbieket a hatásfokot és az energiafelhasználást tekintve ugyancsak kontárnak bizonyulnak. Egy hagyományos izzólámpa a felhasznált energia 3-4 százalékát alakítja fénné és a neonsövek is csak 10 százalékos hatásfokúak. Így lámpáink inkább nevezhetők kályháknak mint fénysugárzóknak.

A biolumineszcencia teremtési szabadalma hideg fény előállításán alapul, amit még senki sem volt képes leutánozni. Ebben a folyamatban bizonyos lumineszkáló anyagok (luciferinek) oxidálódnak a luciferáz enzim katalizáló hatására. Kémiai alapvetően három különböző luciferin különböztethető meg, nevezetesen a baktériumoké, a szentjánosbogaraké és a pontyféléké. *W. D. McElroy* professzor, amerikai biokémikus kvantitatívan meghatározta ennek a fénytermelési módszernek a teljesítményét. Azt kapta, hogy a világítószervvel ATP⁴ formájában közölt összes energiakvantum fénné alakul. Az oxidált luciferin-molekulák száma megegyezik a kibocsátott fénykvantumok számával. A szentjánosbogár fénye tényleg teljesen „hideg”, azaz nincs hőtermelés miatti energiaveszteség. Mivel az energia teljes egészében fénné alakul, itt egy 100%-os hatásfokkal működő lámpával van dolgunk.

A Teremtő több baktériumot, kisméretű szervezetet, rovarot és sok mélytengeri halat felszerelt ezzel a világítóeszközzel. A számunkra legismertebb világító szervezetek a (kis és nagy) szentjánosbogarak (*Phausis splendidula* és *Lampyrus noctiluca*). A legtöbb szubtrópusi és trópusi *Lampyrus*-faj abban különbözik a mi közép-európai fajunktól, hogy tetszés szerint képes pislogni és villogni. A fekete szentjánosbogárral (*Photinus pyralis*) végzett kísérletek azt mutatták [B8], hogy a repülő hímek 5,7 másodpercenként 0,06 másodpercre felvillannak, amire a fűben tartózkodó nőstények azonos ritmusban, pontosan 2,1 másodperces késéssel válaszolnak. A villogó jelek nyilvánvalóan a partnerek közötti kommunikációt szolgálják. Vannak olyan rovarok is, amelyek különböző színű lámpákkal képesek világítani, mint például a braziliai railroad-lárva (*Phrixothrix*). Ennek a *csigarablók* (*drilidák*) családjába tartozó bogárlárvának rendes körülmények között két narancsvörös fény világít az elülső végén. Veszély esetén mindkét oldalán felkapcsol még tizenegy zölden világító lámpást. Mivel egy sötétben robogó vonatra emlékeztet, a találó „vasút-féreg” nevet kapta.

1985-ös izraeli utazásunk során az elati tengeralatti obszervatóriumban módunk volt megfigyelni a Vörös-tengerben élő *laternahalat* (*Photoblepharon palpebratus steinitzi*), amely „laternafényét” nem saját szerveivel állítja

⁴ ATP (= adenozin-trifoszfát): az élő sejt energiátároló és -szállító makromolekulája (lásd F2.3 alfejezet).

elő, hanem egy lumineszkáló baktériumtól kölcsönzi, amely szimbiózisban él vele. A baktériumok olyan kicsik, hogy egyetlen egyed fénye nem is látható, de kolóniában élve jól láthatók. Kizárólag az ovális fényszerven található meg, amely a szemek alatt helyezkedik el. A baktériumokat egy sűrűn szétágazó hajszalér-hálózat táplálja és látja el oxigénnel. Más lumineszkáló baktériumokhoz hasonlóan folytonosan bocsátják ki a fényt, de a hal tetszése szerint be- és kikapcsolhatja. Ugyanis a fényszervére tud húzni egy szemhéjhoz hasonló fekete bőrredőt és ezáltal képes különböző villogó jelek leadására. Ezekkel a jelekkel csalogatja oda azokat a tengerlakókat, amelyek táplálékkául szolgálnak.

A baktériumok fénykibocsátása alapvetően különbözik a többi lumineszkáló szervezetétől. Míg az előbbieket állandó intenzitással, folytonosan sugároznak, függetlenül a napszaktól és bármilyen stimulációtól, addig a többi tengeri szervezet csak akkor világít, ha zavarják vagy stimulálják (pl. egy hajó sodra, a parton megtört hullámok vagy a lumineszkáló szervezetek tömegén átvonuló makrélaráj).

Nagyon jellegzetes a mélytengeri állatok biolumineszcenciája. Vannak odalent világító halak, rákok, nyílféreg és medúzák. Bizonyos halfajok egyetlen lámpát hordanak az oldalukon, míg mások egész lámpasorral vannak kivilágítva. A világítószervek gyakran cikornyás, cikk-cakkos vagy teljesen szabálytalan mintázatban helyezkednek el. Az *ötcsikű csillagképhal* (*Bathysidus pentagrammus*) mindkét oldalán öt gyönyörű fénycsík húzódik, amelyek mindegyike egy sor fakósárga fényből áll. E fények mindegyikét csillagalakban kicsi, de élénken izzó bíbor „drágakövek” veszik körül. A *világító garnéla* (*Sergestes prehensilis*) 150 világító ponttal rendelkezik, amelyek villanásszerűen ki-be kapcsolhatók. Városaink éjszakai fényreklámjaihoz hasonlóan, egy-két másodpercen belül gyors egymásutánban sárgászöld fényminták suhannak végig a fejtől a farkáig. Míg egyes halfajok világító baktériumokkal termeltetik a fényt, mások saját, nagymértékben specializálódott szervekkel rendelkeznek, amelyek sejteiben maguk termelik a lumineszkáló anyagot. Vannak olyan halak, amelyek a fényhatás fokozására rafináltan felépített fényszórókat, gyűjtőlencsákat és más optikai segédeszközöket használnak, amelyek segítségével például meghatározott irányba fókuszálhatják a fényt. A fényszórók úgy épülnek fel, hogy a világító struktúra mögött több ezer, mozaikszerűen elrendezett kis kristály van beágyazva, amelyek tükörsima felületet képeznek és így képesek visszaverni a fényt. Egyes fajok még színszűrőket (pigmenthártyák) is alkalmaznak, hogy egyetlen állaton az összes lehetséges színtónus megjelenhessen.

A Teremtő találmányossága határtalan, mi pedig nem győzünk csodálkozni.

F2.4.3 A tüdő optimális felépítése

Nagy értékű technikai berendezések építésekor csakúgy, mint a biológiai rendszereknél az egyik fő szempont az energiafelhasználás lehető legalacsonyabb szinten tartása. A plusz energiaráfordítást az irreverzibilis folyamatok határozzák meg, amelyekre ezért nagy figyelmet kell fordítani. Az áramlási folyamatokban a sűrűlódás a döntő irreverzibilis tényező. Az áramlási keresztmetszetek gondos méretezésével és az átadási felületek drasztikus csökkentésével csökkenthető a sűrűlódási veszteség. Ennek a követelménynek azonban ellentmondanak bizonyos korlátok, amelyeket figyelembe kell venni: Az aprólékos méretezés a technikában a beruházási költségek, az élő szervezetben pedig az energia alapforgalmának gyors növekedését okozza. Egy szerv vagy izom össz energiaigénye két részből tevődik össze: az illető struktúra működtetéséhez szükséges alapforgalomból és a megnövekedett aktivitásból adódó forgalomnövekedésből.

A Nobel-díjas *W. R. Hess* munkáját folytatva *E. R. Weibel* [W1] az emberi tüdő példáján mutatta meg, milyen rafináltan van megoldva ez az optimalizálási probléma. A konstrukció úgy van kivitelezve, hogy az élő struktúrák minimális felhasználása mellett (minimális anyagfelhasználás és minimális alapforgalom) a nyomásesések legyőzéséhez minimális forgalomnövekedésre van szükség. Mint ismeretes, a légső a két hörgőbe ágazik, ezek ismét két-felé ágaznak azonos átmérőjű vékonyabb csövekbe, majd ezek újabb két vékonyabb csöbe, stb., míg végül a 23. generáció után el nem érünk a legfinomabb elágazásokig. Az egymás utáni csőátmérők (d_1 és d_2) közepes aránya a mérések szerint pontosan 0,8. Ha áramlástan optimalizálási számítást végzünk arra nézve, hogy a csővezeték adott összterfогata mellett lamináris áramlás esetén mikor minimális a nyomásesés, a d_2 / d_1 arányra a $2^{-1/3} = 0,79370$ értéket kapjuk, ami egyezik a fenti mérési értékkel. Ez a $2^{-1/3}$ -os törvény még pontosabban teljesül a tüdőerek elágazásainál. Minél tovább vizsgáljuk a biológiai rendszerek részleteit, annál határozottabban felismerjük, milyen zseniális konstruktőr az alkotójuk.

F2.4.4 A költöző madarak repülése

A madarak repülése az egyik legbámulatraméltóbb mozgásfajta, amelyet a teremtet világban megfigyelhetünk. Technikailag utánozhatatlan megoldások sokasága fedezhető fel benne [D5, R5, S2]. A madárszárnyak az áramlástan szemszögéből maximálisan specializált és optimalizált képződmények. Különösen nagy a jelentősége a szárnyak ívelésének, mivel repülni csak ívelt szárnyakkal lehet. Míg a repülőgépek a menetszélre vannak utalva és emiatt meglehetősen nagy minimális sebességre van szükségük a levegőben maradáshoz, a madarak lassú repülésnél ki tudják használni a saját maguk keltette

szelet. A madárszárny egyszerre propeller és hordozófelület. A meghajtás hatásfoka technikailag utolérhetetlen. A számos megoldott probléma közül itt kettőt szeretnénk kiragadni: a *precíz energiakalkulációt* és az *egzakt navigációt*.

F2.4.4.1 A költöző madarak repülése – precíz energiaszámítás

Minden fizikai, technikai vagy biológiai folyamatban szigorúan teljesül az energiatétel, azaz minden munkafolyamathoz bizonyos mennyiségű energia közlésére van szükség. A költöző madarak energetikai problémája abban áll, hogy zsír formájában elegendő üzemanyagot kell magukkal vinniük az út megtételéhez. A megkövetelt jó repülési tulajdonságok miatt a madár egész konstrukciójának könnyű szerkezetűnek kell lennie, azaz minden fölösleges súly kerülendő. Így rendkívül optimálisan kell bánni az üzemanyaggal. Hogyan oldotta meg a Teremtő, hogy a „üzemanyag” oly sokáig kitartson tankolás nélkül?

A leggazdaságosabb utazósebesség: Az első dolog a leggazdaságosabb utazósebesség megválasztása. Ha a madár túl lassan repül, túl sok üzemanyagot használ el a meghajtásra. Ha túl gyorsan repül, túl sok energiát fordít a légellenállás leküzdésére. Az üzemanyag-fogyasztásnak tehát jól meghatározott minimuma van. Ha a madár ismerné ezt a speciális sebességet, rendkívül energiatakarékosan repülhetne. A törzs és a szárnyak aerodinamikai konstrukciójától függően ez az optimális sebesség minden madárnál különböző (pl. az aztéksirálynál 45 km/h; a törpepapagájnál 41,6 km/h). Ismeretes, hogy a madarak pontosan tarják magukat ehhez a sebességhez. Vajon honnan ismerik? Az ornitológusok számára ez egyike a sok megoldatlan rejtélynek.

A súlypont magasságának tartása: A francia *Jacques Perrin* „Vándormadarak” című természetfilmjével egyedülálló filmet forgatott. A legmodernebb ultrakönnyű repülőgépekkel, mini-helikopterekkel és deltasárkányokkal kísérte a költöző madarak 44 fajtát azonos repülési magasságon és azonos sebességgel, hogy részletesen tanulmányozhassa elegáns repülésüket. Aki látta a 2002-ben bemutatott filmet, átélhette a nagyszerűség élményét, és csodálatos dolgokat láthatott a Teremtő műhelyéből. A madarak repülési művészete technika és szépség tekintetében bámulatba ejtő. Ami az energiaszámítást illeti, feltűnő, hogy még a legnagyobb költöző madaraknál (pl. vadludak, gólyák, darvak) az egész madár súlypontjának magassága a szárnycsapások nem jelentéktelen dinamikája ellenére egyáltalán nem változik. Nem elhanyagolható energiavesztést jelentene, ha ez a feltétel nem teljesülne. Képzeljünk el egy 8 kg-os vadludat. Ha a súlypontja szárnycsapásonként akár csak 3 centimétert süllyedne, majd ismét felemelkedne, ez 2,4 joule já-

rulékos energiaigénnyel járna. 100 000 szárnycsapás esetén ez már 240 kJ-t tenne ki, és ehhez a lúdnak 6 grammal több zsírt kellene felszednie.

A szükséges fűtőanyag-mennyiség: A kelet-szibériai **aranylile** (*Pluvialis dominica fulva*; ang. *Golden Plover*) példáján keresztül szeretnénk kicsit közelebről megvizsgálni az energiaproblémát. Ez a madár minden ősszel Alaszkából Hawaiiiba repül, hogy ott teleljen át. Ennek során megállás nélkül kell átrepülnie az óceánt anélkül, hogy akár egyszer is megpihenne, hiszen útközben nincs egyetlen sziget sem, azonkívül nem tud úszni. Ez alatt a több mint 4000 kilométeres repülőút alatt (indulási helytől függően) megszakítás nélkül 250 000 szárnycsapást végez, ami szinte elképzelhetetlen teljesítmény. A repülés 88 óráig tart. A madár átlagos indulási súlya $G_0 = 200$ gramm, amiből 70 grammot tesznek ki a zsírpárnák, amelyek üzemanyagul szolgálnak. Ismeretes, hogy az aranylile óránként mindenkori testsúlyának 0,6 százalékát ($p = 0,006/h$) mozgási energiává és hővé alakítja. A repülés első órájában tehát

$$x_1 = G_0 \cdot p = 200 \cdot 0,006 = 1,2 \text{ g zsírra van szüksége.} \quad (1)$$

A második óra elején már csak $G_0 - x_1 = 200 - 1,2 = 198,8$ g a súlya, úgyhogy a következő órában egy kicsivel kevesebb zsírt használ el:

$$x_2 = (G_0 - x_1) \cdot p = G_1 \cdot p = 198,8 \cdot 0,006 = 1,193 \text{ g} \quad (2)$$

$$x_3 = (G_0 - x_2 - x_2) \cdot p = G_2 \cdot p = 197,6 \cdot 0,006 = 1,186 \text{ g} \quad (3)$$

A repülés 88. órájára az üzemanyag-fogyasztás az erősen megcsappant súly miatt

$$x_{88} = (G_0 - x_1 - x_2 - x_3 \dots - x_{87}) \cdot p = G_{87} \cdot p \quad (4)$$

értékre csökken. Most kiszámoljuk a madár súlyát az utazás végén:

A mindenkori repülési óra végén számolt testsúly a zsírfogyasztás levonásával adódik:

$$1. \text{ repülési óra: } G_1 = G_0 - x_1 = G_0 - G_0 \cdot p = G_0 (1-p) \quad (5)$$

$$2. \text{ repülési óra: } G_2 = G_1 - x_2 = G_1 - G_1 \cdot p = G_1 (1-p) = G_0 (1-p)^2 \quad (6)$$

$$3. \text{ repülési óra: } G_3 = G_2 - x_3 = G_2 - G_2 \cdot p = G_2 (1-p) = G_0 (1-p)^3 \quad (7)$$

...

$$z. \text{ repülési óra: } G_z = G_{z-1} - x_z = G_{z-1} - G_{z-1} \cdot p = G_{z-1} (1-p) = G_0 (1-p)^z \quad (8)$$

...

$$88. \text{ repülési óra: } G_{88} = G_{87} - x_{88} = G_{87} - G_{87} \cdot p = G_{87} (1-p) = G_0 (1-p)^{88} \quad (9)$$

E szerint az *egyszerű számítás*⁵ szerint az egyes súlyok mértani sorozatot alkotnak, amelynek kvóciense $q = p - 1 < 1$. A megfelelő értékeket behelyettesítve a (9) egyenletbe, a madár súlya a 88. óra végén:

$$G_{88} = 200 \cdot (1 - 0,006)^{88} = 117,8 \text{ g} \quad (10)$$

Az teljes üzemanyag-fogyasztást úgy kapjuk, hogy ezt levonjuk az indulási súlyból:

$$G_0 - G_{88} = 200 - 117,8 = 82,2 \text{ g} \quad (11)$$

Ez az érték határozottan nagyobb, mint a magával vitt 70 gramm! A madár azonban nem mehet a 130 grammos súlyhatár alá (lásd 47. ábra). A minimális üzemanyag-fogyasztást biztosító optimális sebesség ellenére a madár nem éri el Hawaiiit, mivel túl kevés az üzemanyag. Számoljuk ki azt az óraszámot is, amelyhez még éppen elegendő az üzemanyag. A

$$G_z = G_0 (1-p)^z = (200-70) = 130 \text{ g}$$

egyenletből azt kapjuk, hogy a 70 gramm zsír $z = 72$ óra alatt használódik el teljesen. Mi következik ebből? A repülési idő 81 százalékának elteltével – tehát 800 kilométerrel a cél előtt – a madár a tengerbe zuhan és elpusztul. Elszámoltuk magunkat, vagy a Teremtő konstruálta és szerelte fel rosszul a madarat? Egyik sem. A Teremtő műve bámulatba ejt minket: Az „**információ segítségével optimalizált energiafogyasztás**” elve szerint járt el, vagyis közölt a madarakkal egy fontos információt: „Ne egyesével repüljete (S_E görbe), hanem *ék alakban* (S_E görbe)! *Ha ék alakban repültök, 23 % energiát takarítottok meg és biztosan eléritek téli szállásokat.*”⁶ A 47. ábrán látható a súlycsökkenés S_E görbéje ék alakban való repülés esetén. 88 óra elteltével normális esetben még megmarad 6,8 gramm zsír. Ez az üzemanyag sem fölösleges a „tankban”. A Teremtő arra az esetre kalkulálta be, ha ellenszélben plusz energiaigény lépne fel. A 0,6 % testsúly/óra rendkívül alacsony fajlagos üzemanyag-fogyasztás még bámulatosabb, ha meggondoljuk, hogy az ember által kifejlesztett technikai repülő eszközök megfelelő értékei egy

⁵ **Egy másik számítási mód:** A könnyebb érthetőség kedvéért a fenti számítást egy órás lépésközökkel végeztük. Ha azonban a $dG/dt = -G(t) \cdot p$ és $G(t=0) = G_0$ differenciálegyenletből indulunk ki, a $G(t) = G_0 \cdot \exp(-p \cdot t)$ folytonos megoldást kapjuk, ahol $p = 0,006/h$. A fenti számítás eredménye néhány tizedesjegy pontossággal megegyezik ezzel az egzakt megoldással.

⁶ **Ék alakban repülés más madaraknál:** A bütykös ásóludaknál ez az energiamegtakarítás 18%, a darvaknál pedig eléri a 70%-ot, ha a madárjai maximális sebességének háromnegyedével repül és legalább két tucat egyedből áll. Alkalomadtán előfordul, hogy egy daru egy vadlúdcsapattal repül vagy egy kacsá besorol egy darualakzatba. Az ornitológusok ilyenkor „potyautasokról” beszélnek.

nagyságrenddel nagyobbak (helikopternél $p=4-5\%$; sugárhajtású repülőknél $p=12\%$).

Ha valaki ezeket a precíz folyamatokat nem a Teremtő művének tekinti, akkor számára fontos kérdések maradnak megválaszolatlanul:

- Honnan ismeri a madár az energiaszükségletet?
- Hogyan lehetséges, hogy utazás előtt éppen a szükséges zsírmennyiséget szedi fel?
- Honnan ismeri a madár a távolságot és a fajlagos energiafogyasztást?
- Honnan ismeri a madár a repülési útvonalat?
- Hogyan navigál a madár, hogy pontosan célba érjen?

A fent említett (*kelet-szibériai*) *aranylilén* kívül van egy *észak-amerikai aranylile* is. Ez is megállás nélkül repül Labrador partjaitól az Atlanti-óceánon keresztül Észak-Brazíliaig. Míg a nyugati faj ugyanazon az úton repül oda és vissza, az észak-amerikai aranylile különböző útvonalat választ tavasszal és ősszel. A visszaút Dél-Amerika pampáitól Közép-Amerikán és az USA-n keresztül vezet Kanadáig. Szintén hihetetlen repülési teljesítményre képes:

- *japán szalonka* (*Capella hardtwickii*): 5000 km repülés Japántól Tasmaniáig,
- *kelet-szibériai tüskésfarkú sarlósfecské* (*Chaetura caudacuta*): repülés Szibériától Tasmaniáig,
- amerikai partfutó fajok (pl. *Calidris melanotos* = szürkemellű partfutó): 16 000 km repülés Alaszkától a Tűzföldreig.

F2.4.4.2 A költöző madarak repülése – navigációs csúcsteljesítmény

Finn Salomonsen, az ismert dán ornitológus így ír a madarak költözés közbeni tájékozódásáról [S2]: „A madarak azon képessége, hogy költözés közben megtalálják az utat, a legrejtélyesebb misztérium. Kevés más kérdésre született minden korban annyi elmélet és spekuláció, mint erre.” Valóban, a bonyolult műszerek, iránytű és térkép nélkül, állandóan változó napállás, szélirány, felhővastagság és nappal-éjszaka váltakozás mellett végzett navigáció páratlan csoda. Mint az aranylile esetében láttuk, a szárazföldi madarak óceánon való átkelése közben az útiránytól való minimális eltérés azt jelentené, hogy a madarak a nyílt tengeren menthetetlenül elpusztulnának. A menetirány pontos betartása nem próbálkozás dolga. A költöző madarak túlnyomó része sohasem érne el a célt navigáció nélkül, és egy ilyen veszteséget egyetlen faj sem élne túl. Itt mindenféle evolúciós elképzelést el kell vetni. Az a magyarázat is alárendelt szerepet játszik, miszerint a fiatal madarak szülei vezetése mellett ismerik meg az utat, mivel sok madárfaj egyedei

magányosan repülnek. Így el kell fogadnunk, hogy a költöző madarak velük született irányérzéssel rendelkeznek, amely lehetővé teszi, hogy az égi irányok szerint tájékozódjanak és ily módon stabilan tartani tudják az adott irányt. *Salomonsen* ezt az irányérzést két Nyugat-Grönlandon élő kis madár példáján bizonyítja, amelyek ősszel mindketten délre költöznek. A hantmadár és a *hósármány* ugyanarról a vidékről származik és gyakran egyszerre indulnak dél felé. Grönland déli partjaihoz érkezve azonban elválnak útjaik: Míg a hósármány déli irányba folytatja útját, hogy Amerikában teeljen át, a hantmadár délkelet felé fordul, hogy rézsütosan átszelve az Atlanti-óceánt Nyugat-Európába vagy Észak-Afrikába repüljön. Mindkét madárnak specifikus irányérzéke van, amelynek segítségével különböző irányokban vonulnak.

A különböző költöző madárfajokkal végzett szállítási kísérletek során részletes ismereteket szereztek navigációjuk pontosságáról. Figyelemre méltó volt az a kísérlet, amelyet két csérfajjal (*Sterna fuscata* és *Anous stolidus*) végeztek, amelyeknek a Mexikói-öbölben lévő Tortugas-szigeteken van a költőhelyük. A madarakat hajóval különböző irányokba szállították, majd a nyílt tengeren szabadon engedték. Noha számukra teljesen ismeretlen helyen tették ki őket, 832-1368 kilométerre a fészkelőhelyüktől, a legtöbb madár néhány napon belül nagy biztonsággal visszatalált tojásaihoz és fiókáihoz a Tortugas-szigeteken.

Idáig egy *fekete csőrű vészmadarat* (*Puffinus puffinus*) szállítottak a legmesszebbre: Skokholm nevű költőszigetükről (Wales) Bostonba (USA) vitték. 12 nap, 12 óra és 31 perc múlva biztosan landolt a fészken, miután megtette az 5000 km-es nonstop utat az Atlanti-óceánon keresztül.

Különösen sok szállítási kísérletet végeztek *postagalambokkal*. Az ő navigációs teljesítményüket vizsgálták és írták le a leggyakrabban. *Salomonsen* így ír erről a lélegzetelállító navigációs csodáról [S2]:

„Még ha az odautat narkózisban tették is meg a repülőgépen, vagy kalitkájuk állandóan forgott, úgyhogy az irány folyton változott, szabadon engedésük után ugyanolyan arányban találtak haza, mint az ily módon nem kezelt kontrollmadarak. Ezért nem férhet hozzá kétség, hogy a madarak rendelkeznek egy különleges érzéssel, amelynek segítségével érzékelnik képesek földrajzi helyzetüket, tehát navigálni tudnak. Ennek az érzéknek a tulajdonképpeni természetéről semmit sem tudunk, még kevésbé ismerjük az illető szerv elhelyezkedését.”

A madarak nem is sejtett képességekkel rendelkeznek: Nagy távolságokról hazatalálnak még akkor is, ha a szállítás során minden tájékozódási lehetőségüktől megfosztják őket. Csodálatos módon mindenkori tartózkodási helyükön képesek olyan adatokra szert tenni a környezetükből, amelyekből

ki tudják számítani a lakóhelyükhöz képesti helyzetüket. A nehezebb feladat azonban, nevezetesen a repülési navigáció, még csak azután vár rájuk, hogy – számunkra ma még ismeretlen módon – meghatározták tartózkodási helyüket. Ehhez nem elegendő egy egyszerű irányérző.

A madaraknak a hatalmas óceáni területek feletti repülés során, ahol állandóan fúj a szél, észrevehető sodródással kell számolniuk. Az ilyen sodródásokat a kerülőutak miatti energiavesztés elkerülése érdekében folytonosan ki kell igazítani, akár csak egy szabályozástechnikai követőrendszerben. A Teremtő beépített a madarakba egy „robotpilótát”, amely folytonos földrajzi helymeghatározást végez, és a mérési adatokat összehasonlítja az egyedileg beprogramozott rendeltetési hely adataival, úgy hogy garantálja az optimális, energiatakarékos és célorientált repülést. Hol helyezkedik el ez a létfontosságú rendszer és hogy van kódolva ez az üzemelési információ? Ezt senki sem tudja a Teremtőn kívül, aki megtervezte. Tudatlanságunk leplezésére bevezettük az „öszön” fogalmát.

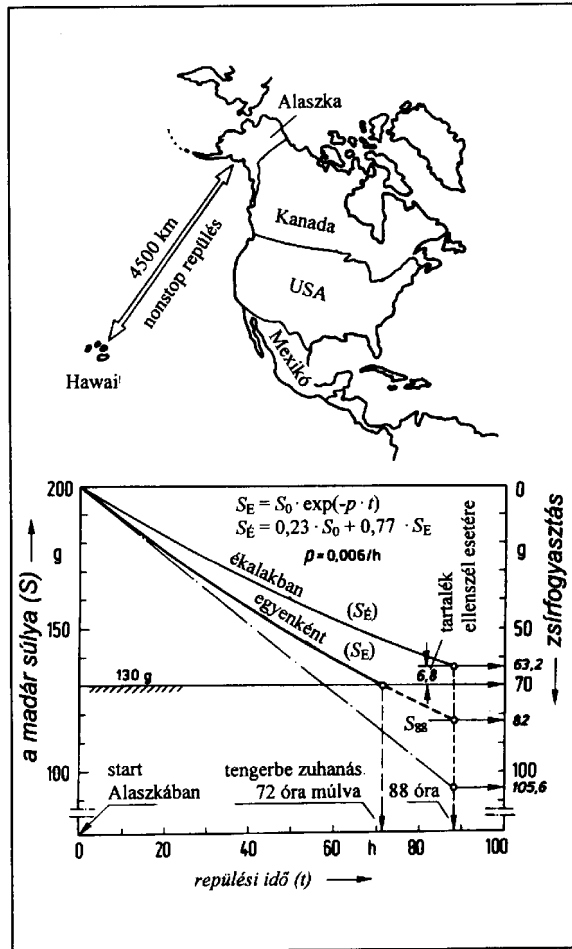
F2.4.4.3 A költöző madarak repülése – információ-vezérelt folyamat

Az evolúciótan szerint a madarak a hüllőkből fejlődtek ki. De ez a folyamat még e tan képviselői számára is fölöttébb valószínűtlennek tűnik. *David Attenborough* brit zoológus így ír [A1, 7. o.]:

„E folyamat [evolúció] következményeinek leírásakor túl könnyen használnak egy kifejezésformát, ami azt a benyomást kelti, mintha az állatok maguk törekedtek volna arra, hogy célirányos módon változásokat idézzenek elő – mintha a halak ki *akartak* volna menni a szárazföldre, és uszonyaikat lábakká *akarták* volna alakítani, mintha a hüllők arra *vágytak* volna, hogy repüljenek, ezért arra törekedtek, hogy pikkelyeiket tollakká változtassák, úgyhogy végül is madarakká váltak. Erre a feltételezésre a legcsekélyebb konkrét bizonyíték sem lelhető fel.”

A 10. fejezetben az információra vonatkozó természeti törvények segítségével elvetettük a makro-evolúciót mint lehetetlen folyamatot (7. következtetés), úgyhogy erre nem is érdemes több szót fecsérelni. A költöző madarakkal kapcsolatban szeretnénk rámutatni egy másik, könnyen érthető kifogásra az evolúcióval szemben. Ezúttal nagyon messzire elmegyünk az evolúciótan képviselőivel, és gondolatban elismerjük, hogy az evolúciós folyamat létrehozott egy kész madarat, komplett repülési apparátussal. Egy ilyen madár azonban egyáltalán nem tudna repülni, hiszen szüksége lenne egy rendkívül komplex programra (információra) az agyában, amely lehetővé tenné repülési manővereit. Még ha az evolúció teljesítené is az összes fiziológiai feltételt [anyagi rész], mint anyagi folyamat a **TTI-1** törvény szerint (6.

fejezet) sohasem lenne képes rá, hogy információt [nem-anyagi mennyiség] kreáljon. Így nyugodtan maradhatunk annál, ami 1Mózes 1,21-ben áll: „És megteremtette Isten ... a különféle fajta madarakat. És látta Isten, hogy ez jó.”



47. ábra: A kelet-szibériai aranylile repülése

Az Alaszkától a Hawaii-szigetekig tartó 4500 km-es nonstop repüléshez a költöző madárnak 70 g üzemanyag áll rendelkezésére zsír formájában. Ha ezt az utat egyedül repülné végig (S_E görbe), 72 óra alatt az egész zsírpárnát elhasználná és 800 km-rel a

cél előtt a tengerbe zuhanna. Ezzel szemben ékalakban való repülés esetén (S_E görbe) 23% energiát takarít meg és biztosan célba ér.

Irodalomjegyzék

- [A1] Attenborough, D. Life on Earth – A Natural History
Collins – BBC, 1979
Magyarul: Élet a földön – A természet története
Novotrade Rt., 1989
- [B1] BAM: Informationsversorgung – neue Möglichkeiten in der
Bundesanstalt für Materialforschung
BAM-Information 6/81
- [B2] Batten, D.; Ham, K.; Sarfati, J.; Wieland, C.: The Answers Book – The Most-asked Questions
about Creation, Evolution & the Book of Genesis
Answered!
Answers in Genesis, 1999
Magyarul: Kérdések a kezdethez – a teremtés logi-
kája
Evangéliumi Kiadó, 2003
- [B3] Blechschmidt, E.: Die pränatalen Organsysteme des Menschen
Hippokrates Verlag Stuttgart, 1972, 184 S.
- [B4] Bleeken, S.: Welches sind die existentiellen Grundlagen lebender
Systeme?
Naturwissenschaften 77, 277-282 (1990)
- [B5] Born, M.: Symbol und Wirklichkeit I
Physikalische Blätter 21 (1965), S. 53-63
- [B6] Borstnik, B. et al.: Point Mutations as an Optimal Search Process in
Biological Evolution
Journal of Theoretical Biology (1987) 125, 249-268
- [B7] Broda, E.: Erfindungen der lebenden Zelle – Zwölf epochale
bisher nicht nachgeahmte Prinzipien
Naturwissenschaftliche Rundschau 31 (1978), S.
356-363
- [B8] Buck, J. B.: Synchronous flashing of fire flies experimentally
produced
Science 81 (1935), p. 339-340
- [C1] Chaitin, G. J.: Randomness and Mathematical Proof
Scientific American 232 (1975), p. 47-52
- [D1] Dake, F. J.: Dake's Annotated Reference Bible
Dake Bible Sales, Inc., PO Box 173,
Lawrenceville, Georgia 30245, 1961

- [D2] Dawkins, R.: Der blinde Uhrmacher – Ein Plädoyer für den Darwinismus
Kindler-Verlag, München, 1987, 384 S.
Magyarul: A vak órásmester
Akadémiai Kiadó – Mezőgazdasági Kiadó, 1994
- [D3] Dembski, W.A.: No Free Lunch – Why Specified Complexity Cannot Be Purchased without Intelligence
Rowman & Littlefield Publishers In.c, Lanham, Boulder, New York, Oxford, 2002, 404 p.
- [D4] Dose, K.: Die Ursprünge des Lebens
(Tagungsbericht über den ISSOL-Kongreß in Mainz vom 10. bis 15. Juli 1983)
Nachr. Chem. Techn. Lab. 31 (1983), Nr. 21, S. 968-969
- [D5] Dröscher, V. B.: Überlebensformel
dtv-Taschenbuch, 2. Auflage 1982, 329 S.
- [E1] Eichelbeck, R.: Das Darwin-Komplott – Aufstieg und Fall eines pseudowissenschaftlichen Weltbildes
Riemann Verlag (Bertelsmann), 1. Auflage 1999, 380 S.
- [E2] Eigen, M.: Selforganisation of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules
Naturwissenschaften 58 (1971), S. 465-523
- [E3] Eigen, M.: Stufen zum Leben – Die frühe Evolution im Visier der Molekularbiologie
Piper-Verlag, München, Zürich, 1987, 311 S.
- [E4] Elektrizitätswirtschaft: Die Elektrizitätswirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1984, Elektrizitätswirtschaft 84 (1985), H.19, S.1-45
- [F1] Feynman, R. P.: The Character of Physical Law, 1965
Magyarul: A fizikai törvények jellege
Magvető Kiadó, Budapest, 1983
- [F2] Fischer Der Fischer Weltalmanach 2001 – Zahlen, Daten, Fakten
Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt/M., Okt. 2000, 1407 S.
- [F3] Flechtner, H.-J.: Grundbegriffe der Kybernetik
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft GmbH, 4. Auflage 1969, 423 S.
- [F4] Forrest, S.: Genetic Algorithms: Principles of Natural Selection Applied to Computation
Science, Vol. 261, 13. August 1993, p. 872-878

- [F5] Fricke, J.: Biomasse
Physik in unserer Zeit 15 (1984), H. 4, S. 121-122
- [G1] Gallager, A.: Claude E. Shannon: A Retrospective in His Life,
Work and Impact
IEEE Transactions of Information Theory, vol. 47,
No. 7, November 2001
- [G2] Gieger, A.: Die Physik und das Verständnis des Lebendigen
Universitas 36 (1981), S. 1283-1293
- [G3] Gilbert, W.: DNA-Sequenzierung und Gen-Struktur
(Nobel-Vortrag)
Angewandte Chemie 93 (1981), S. 1037–1046
- [G4] Gipper, H.: Sprache als Information (Geistige Prägung)
in: O. G. Folberth, C. Hackl (Hrsg.):
Der Informationsbegriff in Technik und
Wissenschaft
R. Oldenburg Verlag, München, Wien, 1986 S. 257–
298
- [G5] Gitt, W.: Information und Entropie als Bindeglieder diverser
Wissenschaftszweige
PTB-Mitt. 91 (1981), S. 1–17
- [G6] Gitt, W.: Ordnung und Information, Resch-Verlag,
Gräfelfing/München, 1982, 211 S.
- [G7] Gitt, W.: Am Anfang war die Information –
Forschungsergebnisse aus Naturwissenschaft und
Technik
Resch-Verlag, Gräfelfing/München, 1982, 211 S.
- [G8] Gitt, W.: Ein neuer Ansatz zur Bewertung von Information –
Beitrag zur semantischen Informationstheorie
in: H. Kreikebaum et al. (Hrsg.), Festschrift
Ellinger, Verlag Duncker & Humblot, Berlin, 1985,
S. 210-250
- [G9] Gitt, W.: „Künstliche Intelligenz“ – Möglichkeiten und
Grenzen
PTB-Bericht TWD-34, 1989, 43 S.
- [G10] Gitt, W.: Information – die dritte Grundgröße neben Materie
und Energie
Siemens-Zeitschr. (1989), H. 4, S. 2-8
- [G11] Gitt, W.: Naturgesetze über Information
Jahresbericht 1996 de Physikalischen-Technischen
Bundesanstalt in Braunschweig, S. 280,
ISSN 0340-4366, März 1997

- [G12] Gitt, W.: Neues Maß zum Vergleich hoher Speicherdichten
Jahresbericht 1997 de Physikalischen-Technischen
Bundesanstalt in Braunschweig, S. 307,
ISSN 0340-4366, März 1998
- [G13] Gitt, W.: Ist Information eine Eigenschaft der Materie?
Westdeutscher Verlag, EuS 9 (1989), H. 2., S. 205-
207
- [G14] Gitt, W.: In the Beginning was Information
3rd English Edition 2001, Bielefeld, 256 S.,
ISBN 3-89397-255-2
- [G15] Gitt, W.: Zur Präzisierung des Informationsbegriffs
Westdeutscher Verlag, EuS 12 (2001), H. 1., S. 22-
24
- [G16] Gitt, W.: In 6 Tagen vom Chaos zum Menschen – Logos oder
Chaos – Aussagen und Einwände zur
Evolutionstheorie sowie eine tragfähige Alternative
5. Überarbeitete Auflage 1998,
Hänssler-Verlag, Neuhausen-Stuttgart, 224 S.
Magyarul: Logosz vagy Káosz – Isten rendje vagy a
káosz – nézetek és ellenvetések az evolúcióval kap-
csolatban, valamint egy elgondolkodtató alternatíva
Evangéliumi Kiadó, 1992
- [G17] Gitt, W.: Das biblische Zeugnis der Schöpfung
7. Auflage 2000, Hänssler-Verlag, Holzgerlingen,
238 S.
Magyarul: A teremtés bibliai tanúságtétele
Evangéliumi Kiadó, 1996
- [G18] Gitt, W.: So steht's geschrieben – Zur Wahrhaftigkeit der
Bibel
5. Auflage 2000, Hänssler-Verlag, Holzgerlingen,
200 S.
Magyarul: Meg van írva...
Evangéliumi Kiadó, 1995
- [G19] Gitt, W.: Fragen die immer wieder gestellt werden
Christliche Literatur-Verbreitung, Bielefeld
18. Auflage 2002, 191 S.
Magyarul: Gyakran feltett kérdések
Evangéliumi Kiadó, 1992

- [G20] Gitt, W.: Schuf Gott durch Evolution?
Hänssler-Verlag, Neuhausen-Stuttgart und
Christliche Literatur-Verbreitung, Bielefeld, 6.
Auflage 2002, 159 S.
Magyarul: Teremtés + evolúció = ?
Evangéliumi Kiadó, 1991
- [G21] Gitt, W.: Wenn die Tiere reden könnten
Christliche Literatur-Verbreitung
Bielefeld, 6. Auflage 2002, 159 S.
Magyarul: Ha az állatok beszélni tudnának
Evangéliumi Kiadó, 1991
- [G22] Goel, N.S.,
Thompson, R.L.: Computer Simulation of Self-Organisation in
Biological Systems
Croom Helm Ltd., Beckenham, Kent BR3 1AT,
1998
- [G23] Guinness: Das neue Guinness Buch der Rekorde 1994
Ullstein Verlag Berlin, 1993, 368 S.
- [H1] Halstead, B.: Popper: good philosophy, bad science?
New Scientist, 17 July 1980, S. 215-217
- [H2] Heschl, A.: Das intelligente Genom
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1998, 291 S.
- [H3] Horgan, J.: An den Grenzen des Wissens –
Siegzug und Dilemma der Naturwissenschaften
Fischer-Taschenbuch, Frankfurt/M. 2000, 463 S.
- [H4] Hoyle, F.: The Big Bang in Astronomy
New Scientist 19 (1981), S. 521-527
- [J1] Janich, P.: Informationsbegriff und methodisch-kulturalistische
Philosophie
Westdeutscher Verlag, EuS 9 (1998), Heft 2, S. 169-
182
- [J2] Jockey, H. P.: Self Organisation, Origin of Life Scenarios and
Information Theory
Journal of Theoretical Biology 91 (1981), S. 13-31
- [J3] Jones, E. S.: Das frohmachende Ja – Das Vermächtnis des
bekannten Missionars und Evangelisten
Christliches Verlagshaus GmbH, Stuttgart, 1975,
95 S.
- [J4] Junker, R.,
Scherer, S.: Evolution – Ein kritisches Lehrbuch
Weyel Biologie, 4. Auflage 1998, 328 S..
- [K1] Kaplan, R. W.: Der Ursprung des Lebens
dtv Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1. Aufl. 1972,
318 S.

- [K2] Kessler, V.: Ist die Existenz Gottes beweisbar? – Neuere Gottesbeweise im Licht der Mathematik, Informatik, Philosophie und Theologie
Brunnen-Verlag, Gießen, 1999, 125 S.
- [K3] Knippers, R.: Molekulare Genetik
Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 7. Auflage 1997
- [K4] Küppers, B.-O.: Der Ursprung biologischer Information – Zur Naturphilosophie der Lebensentstehung
Piper-Verlag, München, Zürich, 1986, 319 S.
- [K5] Küppers, B.-O.: Leben = Physik + Chemie?
Piper-Verlag, Zürich, 2. Auflage 1990, 256 S.
- [K6] Kuhn, H.: Selbstorganisation molekularer Systeme und die Evolution des genetischen Apparats
Angewandte Chemie 84 (1972), S. 838-861
- [L1] Lehninger, A. L.: Bioenergetik
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1974, 261 S.
- [L2] Lexikon der Biologie in 9 Bänden
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford, 1994
- [L2] Lwoff, A.: Virus, Zelle, Organismus
Angewandte Chemie 78 (1966), S. 689-724
- [M1] Matthies, H.: Satellitenfernsehen ist Fingerzeig Gottes
Christen in der Wissenschaft (1986), H. 1, S. 7-9
- [M2] Meixner, J.: Die Thermodynamik irreversibler Prozesse
Physikalische Blätter 16 (1960), S. 506-511
- [M3] Meschkowski, H.: Mathematiker-Lexikon
Bibliographisches Institut, Mannheim, Wien, Zürich,
B. I.-Wissenschaftsverlag, 3. überarbeitete und ergänzte Auflage 1980, 342 S.
- [M4] Meyer, S.C.: DNA and the Origin of Life Information, Specification and Explanation
<http://www.discovery.org/article-Files/PDFs/DNAPerspectives.pdf>, 2002, 44 p.
- [M5] Minibibel: Die kleinste Bibel der Welt auf einem Dia
Kiadó: Ernst Paulus Verlag, Haltweg 23,
D-67434 Neustadt/Weinstraße
- [M6] Mohr, H.: Der Begriff der Erklärung in Physik und Biologie
Naturwissenschaften 65 (1978), S. 1-6

- [M7] Monod, J.: Zufall und Notwendigkeit – Philosophische Fragen der modernen Biologie
dtv-Verlag, 3. Auflage 1997
- [O1] Ohta, T.: A Model of Evolution for Accumulating Genetic Information
Journal of Theoretical Biology (1987) 124, p. 199-211
- [O2] Osawa, S. et al.: Recent Evidence for Evolution of the Genetic Code
Microbiological Reviews, March 1992, p. 229-264
- [O3] Osche, G.: Die vergleichende Biologie und die Beherrschung der Mannigfaltigkeit Biologie in unserer Zeit 5 (1975), S. 139-146
- [P1] Peierls, R. E.: Wo stehen wir in der Kenntnis der Naturgesetze?
Physikalische Blätter (19) 1963, S. 533-539
- [P2] Peil, J.: Einige Bemerkungen zu Problemen der Anwendungen des Informationsbegriffs in der Biologie
Teil I: Der Informationsbegriff und seine Rolle im Verhältnis zwischen Biologie, Physik und Kybernetik, S. 117-128
Teil II: Notwendigkeit und Ansätze zur Erweiterung des Informationsbegriffs, S. 199-213
Biometrische Zeitschrift Bd. 15 (1973)
- [P3] Penzlin, H.: Ordnung – Organisation – Organismus – Zum Verhältnis zwischen Physik und Biologie
Akademie-Verlag Berlin 1998, 32. S.
- [P4] Planck, M.: Vorträge und Erinnerungen
S. Hirzel-Verlag, Stuttgart, 1949
- [P5] P.M. Perspektive: Das Wunder der Evolution
C 7382 F, Heft 96/044, 1996
- [R1] Rentschler, W.: Die Erhaltungsgesetze der Physik
Physikalische Blätter 22 (1966), S. 193-200
- [R2] Ripota, P.: Was Charles Darwin uns alles verheimlichte
P.M. Peter Moosleitners Magazin – die moderne Welt des Wissens, H. 4/2002, S. 22-29
- [R3] Rokhsar, D. S. et al.: Self-Organisation in Prebiological Systems: Simulations of a Model for the Origin of Genetic Information
J. of Molecular Evolution 23 (1986), S. 119-126
- [R4] Ropohl, G.: Der Informationsbegriff im Kulturstreit
Westdeutscher Verlag, EuS 12/(2001), H. S. 3-14

- [R5] Rüppel, G.: Vogelflug
Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, 1980, 209 S.
- [S1] Sachsse, H.: Die Stellung des Menschen im Kosmos in der Sicht der Naturwissenschaft
Herrenalber Texte HT 33, „Mensch und Kosmos“, 1981, S. 93-103
- [S2] Salomonsen, F.: Vogelzug
Aus der Serie: Moderne Biologie
BLV München, Basel, Wien, 1969, 210 S.
- [S3] Schäfer, E.: Das menschliche Gedächtnis als Informationsspeicher
Elektronische Rundschau 14 (1960), S. 79-84
- [S4] Scherer, S.: Photosynthese – Bedeutung und Entstehung – ein kritischer Überblick
WORT UND WISSEN-Fachberichte, Bd. 1,
Häussler-Verlag, Neuhausen-Stuttgart, 1983, 74 S.
- [S5] Schneider, H.: Der Urknall
Zeitschrift factum (1981), Nr. 3, S. 26-33
- [S6] Schrödinger, E.: Was ist Leben?
Piper-Verlag, München, Zürich, 5. Auflage 2001
- [S7] Shannon, C. E.,
Weaver, W.: The Mathematical Theory of Communication
Urbana (USA), University Press 1949
Magyarul: A kommunikáció matematikai elmélete
Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár, 1986
- [S8] Söseman, F.: Information, physikalische Entropie und Objektivität
Wiss. Zeitschrift der Techn. Hochschule Karl-Marx-Stadt 17 (1975), S. 117-122
- [S9] Spurgeon, C. H.: Das Buch der Bilder und Gleichnisse – 2000 der besten Illustrationen
J. G. Oncken-Verlag, Kassel, 1900, 731 S.
- [S10] Spurgeon, C. H.: Es steht geschrieben – Die Bibel im Kampf des Glaubens
Oncken-Verlag, Wuppertal und Kassel, 1980, 94 S.
- [S11] Steinbuch, K.: Falsch programmiert
Deutscher Bücherbund, Stuttgart, Hamburg, 1968, 251 S.
- [S12] Strombach, W.: Philosophie und Informatik
Forschungsbericht Nr. 122 der Abteilung Informatik, Universität Dortmund, 31 S.

- [T1] Theimer, W.: Was ist Wissenschaft?
Uni-Taschenbücher 1352, Francke Verlag Tübingen,
1985, 163 S., Arizona, 1953, 285 S.
- [V1] Vollmert, B.: Das Molekül und das Leben – Vom
makromolekularen Ursprung des Lebens und der
Arten: Was Darwin nicht wissen konnte und
Darwinisten nicht wissen wollen
Rowohlt-Verlag, 1985, 256 S.
- [V2] Völz, H.: Information II
Akademie-Verlag, Berlin, 1983, 367 S.
- [V3] Völz, H.: Information verstehen
Vieweg-Verlag, 1994, 184 S.
- [W1] Weibel, E. R.: Morphometry of the Human Lung
Springer Verlag, Berlin, 1973
- [W2] v. Weizsäcker, E.: Offene Systeme I – Beiträge zur Zeitstruktur von
Information, Entropie und Evolution
Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1974, 370 S.
- [W3] Wieland, W.: Superbugs – Not super at all – Why drug-resistant
germs in hospitals don't show that Darwin was right
Creation ex nihilo, Vol. 20. No. 1, pp. 10-13, 1998
- [W4] Wieland, W.: Möglichkeiten und Grenzen der
Wissenschaftstheorie
Angewandte Chemie 93 (1981), S. 627-634
- [W5] Wiener, N.: Kybernetik – Regelung und Nachrichtenübertragung
in Lebewesen und Maschinen
Rowohlt Verlag, 1968, 252 S.
- [W6] Wills, P. R.: Scrapie, Ribosomal Proteins and Biological
Information
Journal of Theoretical Biology (1986) 122, p. 157-
178
- [W7] Wuketits, F. M.: Biologie und Kausalität
Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 1981,
165 S.
- [X1] Energie aus Sonne und Wind: Raum nicht in der
kleinsten Hütte
Zeitschrift „tag+nacht“ der Stadtwerke
Braunschweig, IV 1983, S. 3
- [Z1] Zuse, H.: Software Complexity – Measures and Methods
Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1991, 605 p.

A Biblia könyvcímeinek rövidítése

Az Ószövetség könyvei

1Móz	Mózes első könyve (Genesis)	Préd	A prédikátor könyve
2Móz	Mózes második könyve (Exodus)	Én	Énekek éneke
3Móz	Mózes harmadik könyve (Leviticus)	Ézs	Ézsaiás próféta könyve
4Móz	Mózes negyedik könyve (Numeri)	Jer	Jeremiás próféta könyve
5Móz	Mózes ötödik könyve (Deuteronomium)	Jsir	Jeremiás siralmi
Józs	Józsué könyve	Ez	Ezékiel próféta könyve
Bír	A bírák könyve	Dán	Dániel próféta könyve
Ruth	Ruth könyve	Hós	Hóseás próféta könyve
1Sám	Sámuel első könyve	Jóel	Jóel próféta könyve
2Sám	Sámuel második könyve	Ám	Ámosz próféta könyve
1Kir	A királyok első könyve	Abd	Abdiás próféta könyve
2Kir	A királyok második könyve	Jón	Jónás próféta könyve
1Krón	A krónikák első könyve	Mik	Mikeás próféta könyve
2Krón	A krónikák második könyve	Náh	Náhum próféta könyve
Ezsd	Ezsdrás könyve	Hab	Habakuk próféta könyve
Neh	Nehémiás könyve	Zof	Zofóniás próféta könyve
Eszt	Eszter könyve	Hag	Haggeus próféta könyve
Jób	Jób könyve	Zak	Zakariás próféta könyve
Zsolt	A zsoltárok könyve	Mal	Malakiás próféta könyve
Péld	A példabeszédek könyve		

Az Újszövetség könyvei

Mt	Máté evangéliuma	1Tim	Pál 1. levele Timóteushoz
Mk	Márk evangéliuma	2Tim	Pál 2. levele Timóteushoz
Lk	Lukács evangéliuma	Tit	Pál levele Titushoz
Jn	János evangéliuma	Filem	Pál levele Filemonhoz
Csel	Az apostolok cselekedetei	Zsid	A zsidókhoz írt levél
Róm	Pál levele a rómaiakhoz	Jak	Jakab levele
1Kor	Pál 1. levele a korintusiakhoz	1Pt	Péter 1. levele
2Kor	Pál 2. levele a korintusiakhoz	2Pt	Péter 2. levele
Gal	Pál levele a galatákhoz	1Jn	János 1. levele
Ef	Pál levele az efezusiakhoz	2Jn	János 2. levele
Fil	Pál levele a filippiekhez	3Jn	János 3. levele
Kol	Pál levele a kolosséiakhoz	Júd	Júdás levele
1Tesz	Pál 1. levele a tesszalonikaiakhoz	Jel	A jelenések könyve
2Tesz	Pál 2. levele a tesszalonikaiakhoz		

Kezdetben volt az információ

Az ateizmus, a materializmus, az evolúció és az ősrobbanás tanai ellen már sok elgondolkodtató kifogást emeltek. A jelen könyv egy új kérdésnek jár utána: Vajon tudományosan is cáfolható-e ez a négy gondolati rendszer?

Eddig még senki sem figyelte meg, hogy a víz felfelé folyt volna egy hegyoldalon. Vajon miért nincs kivétel e szabály alól? Nos, van egy természeti törvény, amely általánosan megtiltja ezt a folyamatot. A természeti törvényeknek van a legnagyobb tudományos kifejezőerejük. Ha tehát sikerül olyan természeti törvényeket találnunk, amelyek ellentmondanak a fenti elméleteknek, akkor ugyanolyan érvénnyel cáfolhatjuk őket, mint a termodinamika törvényei a perpetuum mobile (olyan gép, amely szünet nélkül működik energia közlése nélkül) létezését. Éppen ez a könyv célja.

Az élőlényekben zajló folyamatok információ-vezéreltek. Ha kijelentéseket akarunk tenni az élet eredetéről és lényegéről, először tisztáznunk kell, mi az információ. Fontos tehát, hogy miként keletkezik és milyen törvényszerűségek érvényesek rá. Eltérően a világ szokásos materialista szemléletmódjától, a szerző különbséget tesz anyagi és nem-anyagi mennyiségek között. Bebizonyítja, hogy az információ nem-anyagi mennyiség, és ebből levezeti a Természettudományos Információelméletet, amelynek középpontjában az információra vonatkozó tíz természeti törvény áll. Végül nagy horderejű következtéseket von le Istennel, az élet eredetével, az emberképpel és a fenti négy elmélettel kapcsolatban. A könyv szakít

- *a tisztán materialista gondolkodásmóddal a természettudományokban*
- *a népszerű evolucionista elképzelésekkel*
- *a materialista emberképpel*
- *az ősrobbanás hipotézisével*
- *az ateizmussal*

*