

## **Entropija, proces i informacija<sup>2</sup>**

**Sažetak:** Energetsko-entropijski procesi proizvodnog stroja. Entropija jednostavnih kinematičkih mehanizama: oscilatora na bazi kugle s oprugom i krutog satnog njihala. Različiti ustroji, objekti i procesi te njihova energetska i entelehijska djelotvornost. Procesna cjelovitost informacije i entropije. Boltzmannova i Carnapova definicija entropije. Suprotstavljenost djelovanja informacije i entropije. Poluzatvoreni i poluotvoreni proizvodni procesi. Održavanje entropije informacijom. Granica izračuna entropije Maxwellovog demonu.

**Ključne riječi:** kinematika mehanizama, Maxwellov demon, proizvodna hijerarhija, procesna stanja, trenutna entropija

### **Uvod**

Racionalni razlozi, koji su konstruktore, istraživače i inženjere naveli prije više od 200 godina na put poboljšavanja strojeva s unutrašnjim izgaranjem, nisu istina doveli do značajnijeg poboljšanja djelotvornosti tih strojeva već su prije svega razvili zanimanje za nepovratne gubitke energije. Ljudi su prije 200 godina bili upravo fascinirani parnim strojevima. Već prema tome iz kojih su područja dolazili oni su, počevši od oca i sina Carnota [1], u prvo vrijeme pridavali pozornost raznim motrištima i polaznim pretpostavkama pri razmatranju gubitaka u strojevima s unutrašnjim izgaranjem. Clausius<sup>3</sup> je u tim razmatranjima uveo termin entropija prije 160 godina ne bi li ga odvojio od pojma energije, ali i ujedno nazivom dovoljno malo udaljio od nje da bi zadržao konotaciju [2].

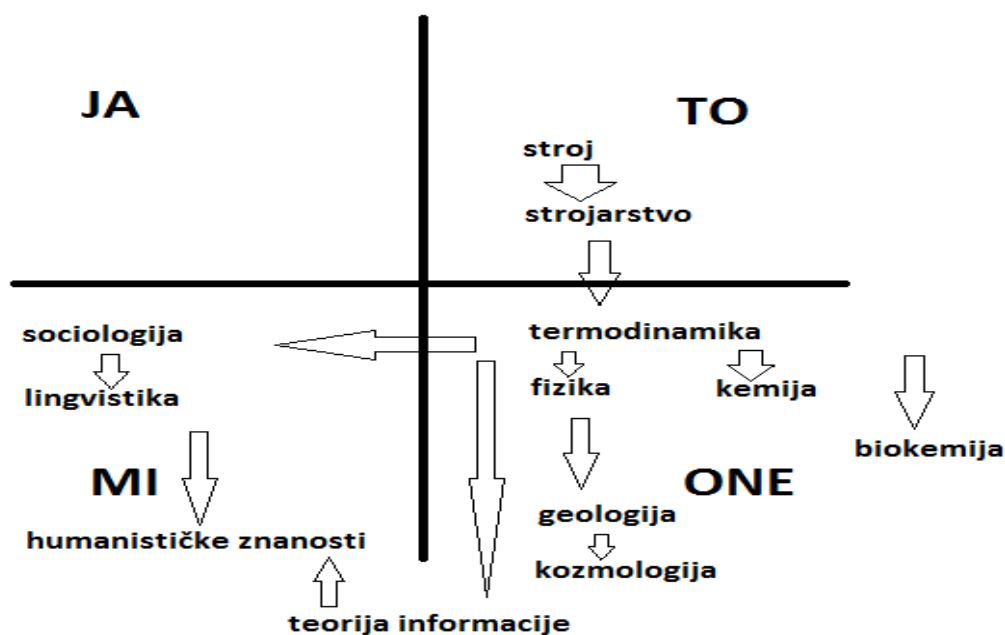
---

<sup>1</sup> Uz obilnu kritiku Zvonka Benčiča i TVZ kruga – Ivana Flegara, Željka Stojanovića i Želimira Kozline.

<sup>2</sup> Da bi neka rasprava bila inženjerski prihvatljiva mora biti primjenjiva; ovo je uvodna rasprava o mjeri jednostavnosti različitih proizvodnih procesa i mehanizama.

<sup>3</sup> Clausius, R. (1850): On the motive power of heat, and on the laws which can be deduced from it for the theory of heat, *Poggendorff's Annalen der Physick*, LXXIX (Dover Reprint).

Područje istraživanja djelotvornosti strojeva i entropije, razvijalo se, udaljilo se i razgranalo prema velikom broju divergentnih znanstvenih područja poput fizike, termodinamike, statističke mehanike, kozmologije, humanističkih znanosti, kemije i biokemije, geologije, lingvistike, sociologije i teorije informacije [2]. Ovoliko gotovo pomodno razgranavanje uporabe pojma entropije možda je potakla upravo nejasnoća pojma a možda i provokativnost intelektualno-apstraktnog značenja, koja je onda mogla dati dodatnu privlačnost mnogim od navedenih znanstvenih disciplina [2]. Možda je tu bilo i opće društvene fascinacije mehanicizmom, strojevima [3]. Migracija pojma entropije prikazana je slikom 1. na 4-kvadrantnom modelu stvarnosti Kena Wilbera [9]. Pojam entropija se iz prvog kvadranta pojedinačne stvari (to-stvar) stroja, 'pokrenuo' ponajviše u četvrti kvadrant 'one stvari' te odatle u treći kvadrant 'mi-društvo'.

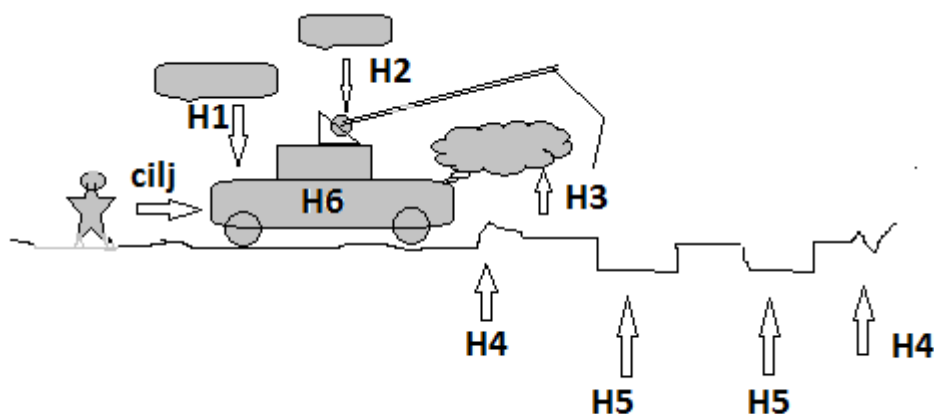


Sl. 1.: Migracija pojma entropija na 4-kvadrantnom AQAL modelu Kena Wilbera [10]

Istraživanje entropije počevši od Boltzmann [4] pa sve do Shannona [5], Kolmogorova, Schroedingera [6], von Neumanna [7] i Prigogina [8] imalo je uz neke manje divergencije u metodologiji jednosmjerno kretanje poimanja entropije od prostornog prema vjerojatnosnom modelu i prostorima  $\sigma$ -algebre<sup>4</sup>. Čak ni Carnap sa svojim čuvenim esejima o

<sup>4</sup>  $\sigma$ -algebra na skupu  $X$  je neka zbirka podskupova od  $X$  uključivo i sam skup  $X$  koja je zatvorena pod komplementom i pod svojim prebrojivim unijama – pojam iz teorije vjerojatnosti i matematičke analize.

prostornoj entropiji nije se mogao posve odmaknuti od tog akademizma, no ipak se zaustavio na entropiji potpuno vezanoj uz pojam prostora stanja realnih varijabli procesa<sup>5</sup>. Ono što je i Carnap ostavio netaknutim bila je sama funkcionalnost i ciljnost rada stroja. Carnap nije ulazio u konkretnu kinematiku i dinamiku promatranog stroja. On je u konačnici bio filozof prirode, a ne pragmi sklon inženjer. Ono što se ovdje želi razmotriti jest mjera složenosti mehanizama i procesa.



*H1* sirovine  
*H2* energija  
*H3* otpadna energija

*H4* nered u okolišu  
*H5* proizvod  
*H6* stroj

Sl. 2.: Osnovni energetske-entropijski procesi radnog stroja. Uočimo da su mjerne jedinice procesa *H* različite; jedne poput *H2* i *H3* su izražene u vatsekundama, a druge poput *H1*, *H4*, *H5* i *H6* u drugim jedinicama<sup>6</sup>, primjerice *H4* i *H5* su u  $\text{bit} \times \text{kg/m}^3$ .

U osnovi se kod proizvodnog stroja može uočiti šest energetske-entropijskih procesa, slika 2. Shodno shvaćanju prikaza na slici se i mjerne jedinice odnosno procesi i pripadne im energije ili entropije postavljaju, mijenjaju ili potpuno 'nestaju'. Tako na primjer geološku entropiju dovoljno opisuje samo entropija *H4* sa slike 2. »Geološki stroj« i popratna energija koji su izazvali tu entropiju nisu na toj lokaciji odavno više aktivni. Ostala je samo od »geološkog stroja« prerađena 'sirovina'.

Pregled glavnih pristupa entropiji dan je tablicom 1.

Tablica 1. Različite definicije entropije, njihovog prostora stanja i primjene

<sup>5</sup> Carnap, R. & Shimony, A. (1977): *Two Essays on Entropy*, Univ of California Press

<sup>6</sup> ukoliko su pripadni ustroji statički i opisuju 'razbacanost mase po prostoru'

| Autor     | Prostor definicije      | Primjena                    | Primjedba                                     |
|-----------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|
| Boltzmann | prostor stanja          | opća                        | makro-mikrostanja?                            |
| Carnap    | dinamički prostor       | opća                        | različitost jedinica                          |
| Gibbs     | vjerojatnosni prostor   | stohastički opis stvarnosti | Izbacivanje determinizma?                     |
| Shannon   | vjerojatnosno-sintaksni | opća informacijska sintaksa | Zanemarenje semantike, pragmatike i ciljnosti |

U nastavku razmatranja probat će se odvojiti energetske od entropijsko-informacijskih pojmova tako da se koristi alat Carnapove entropije<sup>7</sup> na jednostavnim mehaničkim strukturama (dio 1), dati pojam resursa i njegovih ciljnih i energetskih sastavnica (dio 2), naglasiti Boltzmannovu entropiju i cjelovitosti informacije i entropije te definirati entropije poluzatvorene i poluotvorene proizvodne strukture (dio 3), odrediti entropiju proizvodne hijerarhije (dio 4), odrediti informaciju kao entitet koji podržava entropiju (dio 5) te dati primjer izračuna entropije Maxwellova demona (dio 6). Rasprava bi trebala naglasiti Boltzmannovu entropiju i Carnapov pristup njenog izračuna kao cjelovitu mjeru složenosti neke konkretne strukture.

## 1. Entropija jednostavnih kinematičko-dinamičkih modela

Kod svih mehanizama koje su proučavali istraživači energetskih gubitaka i entropije, već od oca i sina Carnota, najveću enigmu predstavljalo je slabo usklađeno gibanje pokretnih dijelova, dakle njihova kinematika. Izdvojeni kinematički mehanizmi međutim posjeduju jedno izvanredno svojstvo za proučavanje gubitaka a to je reverzibilnost procesa gibanja. Reverzibilnost se najbolje uočava u vrlo jednostavnim mehanizmima pri zanemarivim gubiticima energije.

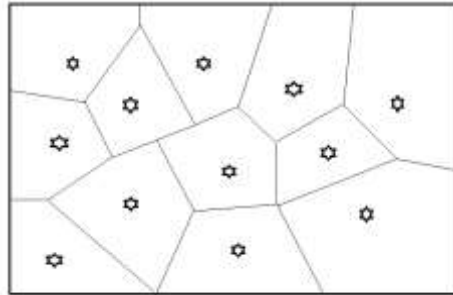
Jednostavan ilustrativan primjer dan je slikom 3. Ukupan trenutni dvo-dimenzijski prostor podijeljen je između 12 lebdećih čestica pokrenutih vjetrom. Kako je njihova brzina približno jednaka i u istom smjeru ona se može zanemariti u prikazu njihovog faznog prostora. Ovako prikazana entropija čestica je prema Voronoju jednaka zbroju logaritama

---

<sup>7</sup> poznate i kao Voronoyeva teselacijska entropija

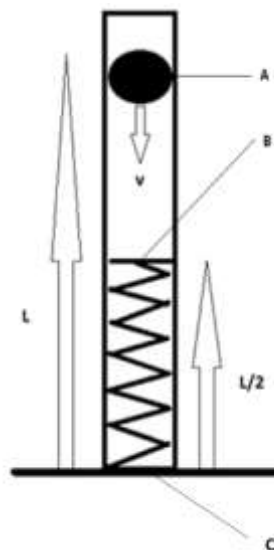
baze 2 parcijalnih udjela faznog prostora  $p_{psi}$  svake čestice, vidjeti sliku 3., odnosno općenito: [8a]

$$H_{vor} = - \sum_{PS} p_{psi} \ln p_{psi} \quad \frac{bit}{\left(m^2 \cdot \frac{m}{s}\right)} = \frac{bit \cdot s}{m^3} \quad (1)$$



Sl. 3.: Trenutni fazni prostor 12-čestičnog jata pokrenutog vjetrom u podjednako brzini kretanja; brzine nisu naznačene

Slika 4. predstavlja jednostavan reverzibilni mehanizam s dvije slobode gibanja, koji se sastoji od linearnog gibanja kugle u zrakopraznom cilindru s oprugom uz zanemarenje svih gubitaka u cilindru i opruzi. Zanemarimo li i rotacijsku energiju kugle, ovaj postav ima jedan stupanj slobode gibanja. Presudno za određivanje entropije ovakvog postava jest određivanje kinematskih točaka. Na slici 4. obilježene su oznakama A, B i C. Pojam entropija usko je vezan za neku konfiguraciju koja je naprosto ustroj svojih sastavnih dijelova. Slika 4. prikazuje jednu konfiguraciju pogodnu za izračun trenutne entropije ovog ustroja.



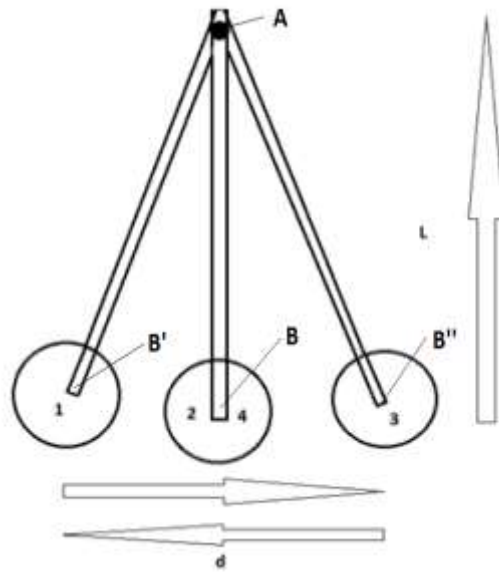
Sl. 4.: Idealna opruga i vakuumirani cilindar kao jednostavan entropijski ustroj s dvije slobode gibanja; kinematske točke su označene s  $A$ ,  $B$  i  $C$ ;  $L$  je duljina puta kugle, neka je  $L/2$  duljina puta opruge; pretpostavlja se potpuni prijenos energije s kugle na oprugu i obrnuto; početno stanje

Odredimo entropiju postava za slučaj kada je kugla u maksimumu, opruga potpuno istegnuta. Tada je entropija prema zauzimanju fazne linije  $L$  po točkama  $A$ ,  $B$  i  $C$  i prema izrazu (1) i [22] jednaka:

$$H = \frac{1}{L} \cdot \frac{L}{4} \ln \left( \frac{1}{L} \cdot \frac{L}{4} \right) + \frac{1}{L} \cdot \frac{L}{2} \ln \left( \frac{1}{L} \cdot \frac{L}{2} \right) + \frac{1}{L} \cdot \frac{L}{4} \ln \left( \frac{1}{L} \cdot \frac{L}{4} \right) =$$

$$= 2 \cdot \frac{1}{4} \ln \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \ln \frac{1}{2} = 1,5 \frac{\text{bit}}{\text{m}}$$

(2)



Sl. 5.: Kinematske točke klatna:  $A, B, B'$  i  $B''$ ; vrijede pretpostavke reverzibilnosti kada se zanemare otpori u zglobovima  $A$  i otpor zraka; fazna ravnina za točke  $B'$  i  $B''$  ima dimenziju  $\Phi = d \cdot L$

Za kinematski postav sa slike 5. možemo slično tome izračunati entropiju za položaj  $B''$  klatna. Entropija za podjednako zauzimanje prostora od točaka  $A$  i  $B''$  iznosi:

$$H = \frac{L \cdot d}{2} \cdot \frac{1}{L \cdot d} \ln \frac{L \cdot d}{2} \cdot \frac{1}{L \cdot d} + \frac{L \cdot d}{2} \cdot \frac{1}{L \cdot d} \ln \frac{L \cdot d}{2} \cdot \frac{1}{L \cdot d} = 1 \frac{\text{bit}}{\text{m}^2}$$

(3)

U točki  $B$  bi se fazni prostor pak sastojao od umnoška površine fazne ravnine i maksimalne brzine [22], dakle:

$$\Phi = d \cdot L \cdot v_{\text{maks}} \quad (4)$$

te bi u skladu s prethodnim i jedinica entropije u svim postavima između  $B'$  i  $B''$  bila dana u  $\frac{\text{bit} \cdot \text{s}}{\text{m}^3}$ .

## 2. Proces i entropija

Procesi, poput otkućaja zidnog sata, koji su u podlozi svakog razmatranja gubitaka se pak odigravaju postojano u 'resursima' pod okolnostima određenih 'ustroja' dane 'konfiguracije', slike 3, 4 i 5.

Resurse obilježavaju dva pojma: resursni kapacitet i rizik njegove uporabe [10]. Opća jednadžba uporabe resursa bez rizika dana je kao:

$$I = k \cdot R \quad (5)$$

gdje je  $I$  kapacitet uporabe<sup>8</sup>,  $k$  uporabna konstanta, a  $R$  sam resurs. Tako višegodišnji nerizični prosječni izlov od 200 grla/godinu matičnog stada jelenske divljači prosječnog broja od 2000 grla u Kopačkom ritu daje vrijednosti  $I = 200$  grla,  $R = 2000$  grla te je odatle izračunat  $k = 0,1$  [11]<sup>9</sup>.

Znatnija uporaba svoje okoline stvara resursu mogućnost povećanja kapaciteta  $I'$  uz stanovito stvaranje rizika:

$$I' = k \cdot R + b \cdot R \cdot r(E)$$

<sup>8</sup> Kapacitet ovisi o vrsti resursa, za komunikacijski kanal to je propusna moć u bit/s, za memoriju to su bitovi.

<sup>9</sup> Ovaj je izračun zapravo samo ilustrativan, jer se resursna jednadžba odnosi na 'nežive resurse' kontrolirane agentom. Informacijski agent u pravilu vodi i upravlja 'neživom supstancom' koja se ne reproducira.

gdje je  $b$  koeficijent osjetljivosti resursa na rizik, a rizik  $r(E)$  sklonost gubitku kapaciteta resursa kod forsiranog povećanja kapaciteta resursa nekim akcijama na resursu.  $r(E)$  je funkcija okoline resursa<sup>10</sup>. Ako bismo u nekoj situaciji morali naglo povećati brzinu svog vozila da se izbjegne incidentna situacija, onda bi to povećanje brzine išlo na račun povećanja rizika ispravnog rada stroja. S tim rizikom moramo računati!

Pojam ustroja (engl. *arrangement*, aranžman, konfiguracija) je vezan za entropiju »na dva mjesta«: prvo iz same definicije entropije kao mjere broja specifičnih realizacija<sup>11</sup> ili mikrostanja (stroja) [12], a drugo iz tzv. rezidualne ili Shannonove entropije koja se javlja kada je stroj (virtualno ili stvarno) stavljen na temperaturu od 0 K. Ovdje može doći do prve zabune glede pojma entropije, jer dok »entropija predstavlja jedan dio energije koji se ne može izvući iz sustava / stroja / ustroja i pretvoriti u mehanički rad« [13]<sup>12</sup> pitanje je o kojoj je energiji riječ u geološkom sloju ili komunikacijskoj poruci na kanalu. Ili koja i kakva je to samo-disipirajuća energija društva?

Procesi se u realnom stroju odvijaju tako da stroj izvršava ciljni rad, funkciju zbog koje je izrađen i pri tome pretvaraju energiju čiji dio je nepovratno izgubljen za sam proces. Na slici 6. prikazan je niz pojedinačnih primjera procesa s naznakom udjela energije koja se koristi za ispunjavanje njihove osnovne ciljne funkcije i dijela koji se nepovratno gubi<sup>13</sup>.

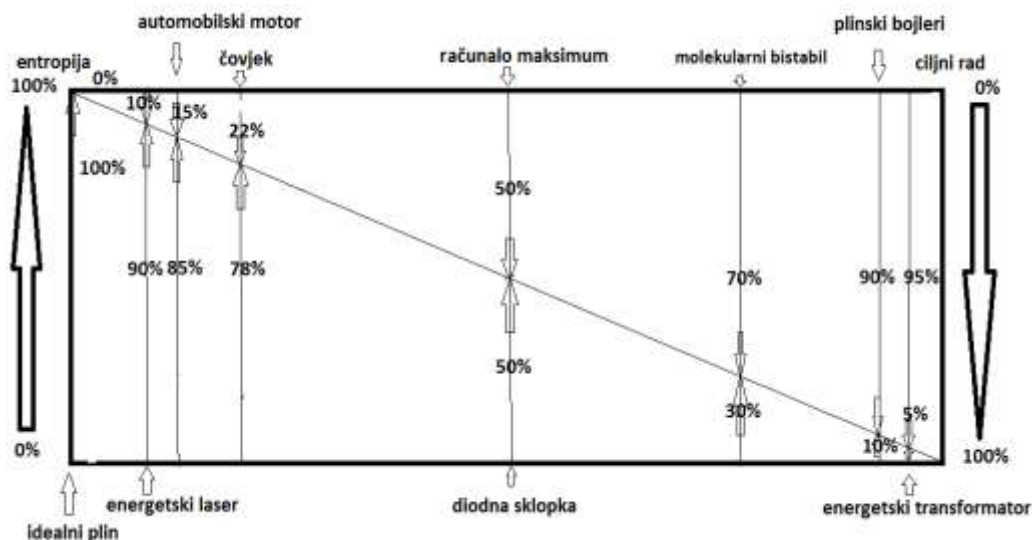
---

<sup>10</sup> Rizikom se naravno stvara i situacija smanjenja propusne moći.

<sup>11</sup> u kemiji to su mogućnosti različitih zauzimanja slobodnih stanja elektrona u atomu

<sup>12</sup> Gibbs je očito entropiju poistovjetio s energijom!

<sup>13</sup> Ukoliko se ciljni rad sastoji u 'prikupljanju buduće energije' kao kada čovjek radi u polju, onda se navedena slika s dubokom mijenja.



Sl. 6.: Omjeri ciljne učinkovitosti i entropije za niz pojava, naprava i čovjeka<sup>14</sup>; podatak za molekularni bistabil dan je u doi: [10.1093/nar/gkq389](https://doi.org/10.1093/nar/gkq389); nije uračunato koliko ciljnog rada se odnosi na 'oporavak' entropije.

### 3. Entropija u zatvorenom sustavu i otvorenom sustavu s kontroliranim ili nasumičnim okolišem

Prvi pogled na dinamičku mehaničku strukturu poput idealnog plina definirao je Boltzmann kao entropiju  $H$  za  $S$  različitih makro- mikroskopskih stanja strukture kao: [14]

$$H = k \ln S \quad (6)$$

gdje je  $k$  Boltzmannova konstanta. Stanja  $S$  moguće je opisati u različitim faznim prostorima, ovisno o pokusu koji izvodimo. Zbog različitih mogućnosti definiranja tih stanja u odnosu na fazni prostor<sup>15</sup> koje koristi, entropija uvelike ovisi o pokusu koji pojedinac izvodi. Vrlo grubo rečeno promatramo li entropiju neke prostorije na skali jednog prostornog milimetra ili jednog prostornog metra imat ćemo posve različite iznose entropija, jer ćemo razmatrati vrlo različite makro- mikroskopske pojave i njima pridružena vrlo različita stanja. Entropija iz tih razloga i

<sup>14</sup> Uzima se da je protok krvi u mozak čovjeka mjera njegove ciljnosti; ova je mjera kod čimpanze oko 7 %.

<sup>15</sup> fazni prostor neke jednostavne trodimenzijske strukture poput stroja u mirovanju ili radne sobe je naprosto pripadni 3D prostor

nije čisto fizikalna veličina već po Wigneru 'antropomorfna' fizikalna veličina [14]<sup>16</sup>. Upravo definicija pokusu pripadnog faznog prostora čini temelj te antropomorfnosti.

Svođenje pak višedimenzijskog faznog prostora, kako se može razumjeti Boltzmannov koncept entropije, na Gibbsov fazni prostor kao vjerojatnosni prostor<sup>17</sup> dovelo je do gotovo tragičnog pojednostavljenja proračuna entropije [2]. Ovo se očituje na primjer u informacijskoj teoriji prijenosa kodova po Shannonu, jer je to i prije svake daljnje primjene 'ubilo' vezu entropije i informacije. Ustvari relativiziralo je pojam informacije, jer ju je identificirao kao negativnu entropiju 'faznog prostora vjerojatnosti' pri analizi pojave kodnih poruka<sup>18</sup>. Mi ćemo se stoga u ovom razmatranju radije držati Boltzmannovog koncepta entropije u faznom prostoru uzevši u obzir antropomorfni karakter njegove prirode, dakle ovisnosti o pokusu koji se izvodi. Proširenje na Carnapovu entropiju faznog prostora<sup>19</sup> samo dopunjuje ovaj koncept izračuna entropije na strukture potpuno različite od idealnog plina<sup>20</sup>.

Drugi pogled na prirodu idealnog plina u Boltzmannovom modelu entropije trebao bi upućivati na idealni plin u zatvorenom sustavu, premda nije eksplicitno navedeno. U 19. stoljeću jasne zamisli o razlikama fizike i kemije otvorenog od zatvorenog prostora vrlo vjerojatno nisu ni postojale. Znanstvenici su u vrijeme Boltzmannova vjerojatno zamišljali svoje modele u uvjetima implicitne zatvorenosti.

Budući da prema Borelovim indicijama<sup>21</sup> ne postoji nešto takvo kao 'zatvoreni sustav', dovoljno je pretpostaviti da znamo utjecajnost »prirode otvorenosti« nekog 'zatvorenog sustava' na njegov entropijski model<sup>22</sup>, ne bismo li ga mogli koristili kao 'zatvoreni sustav' [15]. Tako pojave na barijeri PN prijelaza izdvojene diode možemo smatrati 'dovoljno zatvorenim' otvorenim ustrojem, dočim transformator možemo teže ubaciti u takvu shemu jer je njegova otvorenost ovisna o kontekstu primjene – pokusa. Učinski transformator u transformatorskoj stanici i u električnom vozilu nisu jednako zatvoreni / otvoreni na okolinu.

---

<sup>16</sup> [4] F. T. Jaynes, Gibbs vs Boltzmann Entropies, *American Journal of Physics*, Vol 33, No.5, May 1965, pp. 391-398.

<sup>17</sup> U teoriji dinamički sustava fazni prostor je prostor u kojem su sva moguća stanja sustava prikazana tako da svakom stanju odgovara jedna jedinstvena točka tog prostora

<sup>18</sup> Dobitak propusnosti prijenosnog kanala uvođenjem redundantnih kodova po Shannonu je opet na račun povećane entropije energije.

<sup>19</sup> Stvarna stanja u Carnapa nemaju stohastički karakter

<sup>20</sup> Mjera entropije idealnog plina dana je u fizikalnim jedinicama J/K, pa se ovime 'sterilnost' Shannonova pristupa ističe i po tome što entropiju mjeri u jedinicama bit dok entropijske mjere poput Carnapove mjere entropiju u bitovima po mjernoj jedinici pokusa koji razmatraju, dakle u osnovici su 'informativnije'; Kolmogorovljeva entropija je slično Shannonu definirana na  $\sigma$ -prostoru.

<sup>21</sup> Borel, vidjeti u David Layzer: The Arrow of Time, *Scientific American*, Vol. 223, December 1975, p. 56.

<sup>22</sup> U pravilu postoji samo otvoreni ili zatvoreni entropijski model – ovisno o doticaju ustroja s okolinom

Raspodjele potencijala PN barijera u gusto 'nakrcanom' i toplinski napregnutom integriranom sklopu teško da su pojave u zatvorenom sustavu.

Praktički se 'antropomorfnost' faznog prostora otvorenog sustava, poput ponašanja dioničkog tržišta, svodi na odluku je li neka promjena ili proces reverzibilan ili ireverzibilan. U konačnici to je i temeljni postulat uporabe entropije u kemiji<sup>23</sup>[16] i biologiji [17].

### 3.1. Apstraktni i materijalni resursi

Razvoj društva uvjetovan je i istodobno ograničen resursima<sup>24</sup> te voljom za promjenom njihove uporabe. U društvu postaju sve važniji nematerijalni, humani i apstraktni resursi, a nevažniji postaju oni materijalni poput nafte i kovina. Ipak materijalni resursi su često pitanje opstanka pa se pojedinci i društvo uvode u konfliktne situacije između za resurse zainteresiranih strana. No materijalni resursi, nazovimo tako okolinu idealne PN barijere ili 'idealnog transformatora', su neminovno područje gdje zakazuje funkcija pojedinog procesa.

Apstraktni resursi uključuju primjene softverske tehnologije nad »simboličkim objektima« poput simboličkih objekata virtualne stvarnosti, interneta stvari i bića, na tehnologiju oblaka i na istraživanje velikih podatkovnih struktura (engl. *big data*). Iza apstraktnih resursa može bez problema stajati i golem utrošak prostora i energije nosilaca tih procesa, dakle golem porast entropije.

Najvažniji apstraktni resurs kojem se teži jest informacija<sup>25</sup>. Informacija stoji u pozadini svih simbola. Informacija je međutim neraskidivo vezana i za materijalni i nematerijalni resurs izvedbom dane naprave, uređaja, dakle entropijskom vezom. Razlučivanje entropije procesa i njemu pripadne informacije, kao sadržaja ciljne promjene i primjene određenog procesa, stoga je spoznajno i pragmatički važno. Dakle, informaciju možemo promatrati i kao resursnu pojavu i kao entelehijski element. Odluka o motrištu ovisi o pokusnom postavu u promatranom procesu i o razini informacije koju koristimo [18] te po Kenu Wilberu i o stupnju svijesti promatrača<sup>26</sup>.

### 3.2. Informacija i entropija

Nemoguće je dati neproturječnu ili jednoznačnu definiciju informacije ako isključimo njezin cilj, dakle entelehijski značaj. Ciljnost je pak bila zabranjena domena znanosti još od

---

<sup>23</sup> Ozren Jović, osobno priopćenje

<sup>24</sup> To su sva sredstva koja se mogu privesti korisnoj svrsi.

<sup>25</sup> Informacija je pobuda sa značenjem za primatelja u nekom njegovom interesnom kontekstu.

<sup>26</sup> vidjeti u [9] Vanja Borš, *Integralna teorija Kena Wibera*, FF press, Zagreb 2012.

Rogera Bacona, dakle prije sedam stotina godina. Ima pragmatičnih razloga da se isto prešutno održi i danas, jer bi prevelika težnja istraživanju ciljnosti nužno dovela društvo na skliski teren propitivanja svrhovitosti pa bi onda izučavanje stvarnosti u limitnom procesu postalo pretežno predmetom izučavanja teologije. Stvarnost napretka otela bi se egzaktnim znanostima i tehnologiji, a sve na štetu društva u cjelini. Figurativno rečeno vratili bismo se na stupanj razvoja vučedolske kulture. Iako, dvojbe oko ekskluzivne valjanosti entelehije u tumačenju informacije moraju biti razumno ograničene da se ne bi npr. morali 'zakvačiti' za pitanje slobode i sudbine nositelja entelehije, odnosno informacije, dakle primarno slobode i sudbine čovjeka.

### 3.3. Cjelovitost informacije i entropije

Na primjeru diode lako možemo razdvojiti napon na PN prijelazu kao informacijski od protunapona u »omskom dijelu« diode koji ima o postupku dopiranja ovisan a time određeni entropijski karakter<sup>27</sup>. Isto tako možemo transformatorski omjer kao informaciju grubo razlučiti od o konstrukciji ovisnog oblikovanja magnetskog polja  $H$  koja je u osnovi okolišno – entropijska pojava<sup>28</sup>. Pitanje je kako se informacija i entropija međusobno postavljaju na dubljoj hijerarhijskoj ljestvici. Koristimo Bouldingovu shemu na tablici 2. kako je prezentirana po von Bertalanffyju [3]:

Tablica 2. Neformalni pregled glavnih razina hijerarhije sustava von Bertalanffyja – djelomično prema Bouldingovoj shemi [3]

| Razina                | Opis i primjeri                                                                                        | Teorija i modeli                                                   |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Statičke strukture    | atomi, molekule, kristali, biološke strukture od razine elektronskog mikroskopa do makroskopske razine | npr. strukturne kemijske formule; kristalografija, anatomske opisi |
| Satni mehanizmi       | satovi, općenito konvencionalni strojevi, sunčevi sustavi                                              | klasična fizika, npr. zakoni mehanike (Newton i Einstein) i drugo  |
| Upravljački mehanizmi | termostat, servomehanizmi, homeostatski mehanizam u organizmima                                        | kibernetika; povratna veza i informatika <sup>29</sup>             |

<sup>27</sup> tumačenje primjera je od Zvonka Benčiča

<sup>28</sup> po tumačenju Ivana Flegara

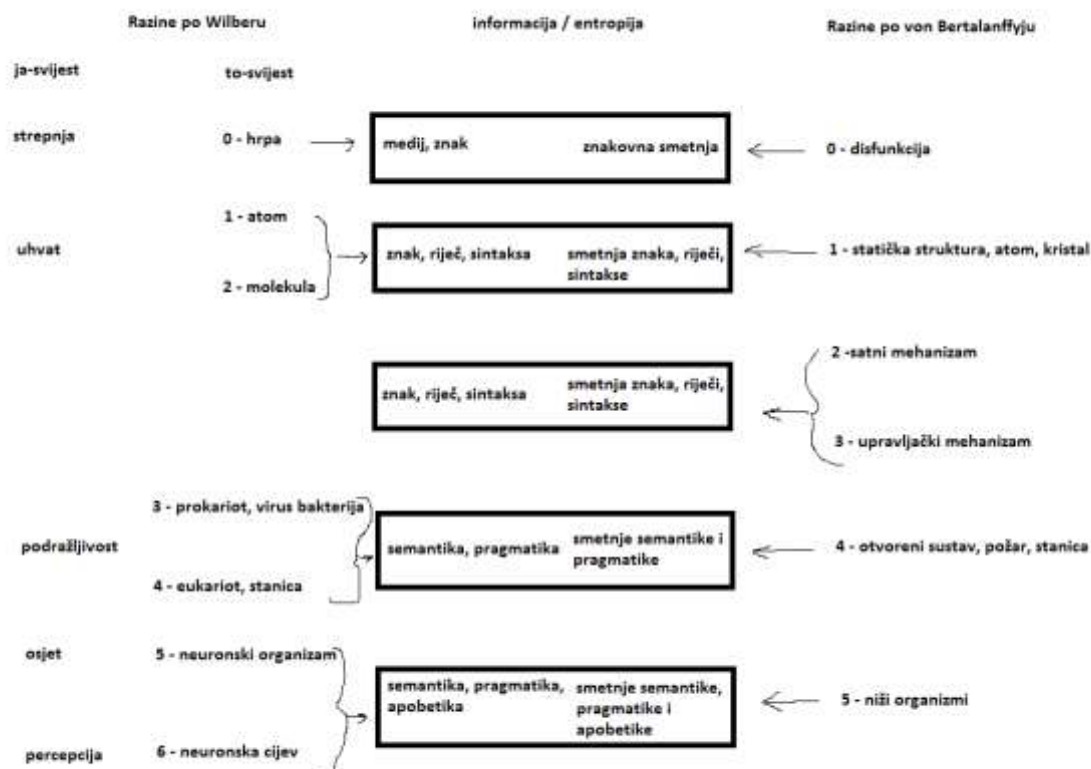
<sup>29</sup> u originalnom navodu: *information theory*

|                          |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Otvoreni sustavi         | plamen, stanice i općenito organizmi                                                                                                                                                      | (a) proširenje fizikalne teorije na sustave koji sami po sebi održavaju tok tvari (metabolizam)<br>(b) skladištenje informacija u genetskom kodu (DNA);<br><br>veza (a) i (b) danas nije jasna |
| Niži organizmi           | organizmi 'slični biljkama': sve veća diferencijacija sustava (tzv. 'podjela rada' u organizmu); razlikovanje reprodukcije i individualnih funkcija ('germ trak' <sup>30</sup> i tijelo') | gotovo nedostaju teorija i modeli                                                                                                                                                              |
| Životinje                | rastući značaj prometa informacija (razvoj receptora, živčanih sustava); učenje, počeci svjesnosti                                                                                        | početak teorije automata (S–R relacije <sup>31</sup> ), povratna veza (pojava u regulaciji), autonomno ponašanje (relaksacijski oscilatori) itd.                                               |
| Ljudi                    | simbolizam; prošlost i budućnost, ego i svijet, samosvijest, itd., kao posljedice; komunikacija govorom itd.                                                                              | početna teorija simbolizma                                                                                                                                                                     |
| Socio-kulturalni sustavi | populacije organizama (uključujući ljude), zajednice određene simbolima (kulturama) – samo kod ljudi                                                                                      | statistički i možda dinamički zakoni u dinamici populacije, sociologija, ekonomija, možda povijest; počeci teorije kulturoloških sustava                                                       |
| Simbolički sustavi       | jezik, logika, matematika, znanosti, umjetnost, moral itd.                                                                                                                                | algoritmi sa simbolima (npr. matematika, gramatika); „pravila igre“ kakva su u vizualnim umjetnostima, muzici itd.                                                                             |

Jedinstvo suprotnosti entropije i informacije možemo bolje uočiti na slici 7., koja naglašava međusobno suprotstavljena djelovanja entropije i informacije na nižim razinama hijerarhije iz tablice 1.

<sup>30</sup> germ trak je niz generacija stanica od primordialnih germinalnih stanica do spolnih produkata odraslog organizma

<sup>31</sup> engl. *stimulus–response relations*



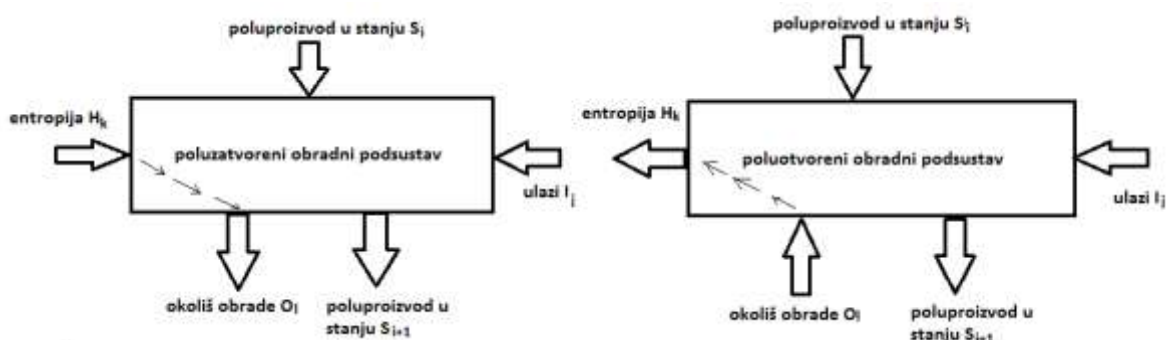
Sl. 7.: Suprotstavljena djelovanja entropije i informacije na početnim razinama hijerarhije prirodnih i tehničkih sustava, usporedna shema hijerarhije po Wilberu i von Bertalanffyju

#### 4. Proizvodna hijerarhija i entropija

Pogled na tehničku stvarnost strojarske proizvodnje Ropohla otkriva nam njegovu posve drugačiju stratifikaciju ljudskih sustava obrade i posredovanja, kao mikro (pojedinaac) – mezo (organizacija ljudi) – makro (ljudska zajednica) i mega sustavi (svjetsko društvo) [19]. Ropohl izdvaja proizvodne sustave u hijerarhijski niz: sirovina – pojedinačni dio – stroj / naprava – agregat – postrojenje – regionalno postrojenje – savez proizvodnih tvrtki. Teško da bi se osim kao neka groteska [19] ova proizvodna hijerarhija mogla uklopiti u onu von Bertalanffyja, a još teže ili nikako u onu Kena Wilbera. Osim ako ne smatramo potpuno infantilno da su krila aviona i ptice jedna te ista stvar.

Važna osnovna ideja svih stratifikacija jest to da bilo koja pogreška ili povećana entropija na jednoj razini bespovratno djeluje na cijelu hijerarhiju iznad nje, što je očigledno iz njihove apstraktne hijerarhijske međuovisnosti. No informacija na nekoj razini ustroja

može pomoći samo svojim nižim razinama, ali i to neselektivno. Primjer: pogreška na proizvodnom stroju, npr. preši u tvornici keramike, djeluje na proizvode koji se obrađuju na njoj, no nikako ne djeluje na proizvode koji se obrađuju na ostalim strojevima na istoj hijerarhijskoj razini obrade ili na obrade više razine, gdje se samo 'unos' kao škart. S druge strane informacija o pogrešnom proizvodu koja se detektira na višoj razini odnosi se na sve strojeve i procese niže razine sve do razine sirovine. Ona se u smislu otklanjanja pogreške ne odnosi na više razine, jer ih ne obuhvaća i nema nikakve osnovanosti za to. No posljedice pogreške na proizvodnju u cjelini ostaju.



Sl. 8.: Poluotvoreni i poluzatvoreni proizvodni podsustavi: smjer kretanja entropije i utjecaja ustroja na okoliš obrade

Općenito govoreći ako je proizvodni proces entropijski zatvoren ili izoliran od okoliša proizvoda, a otvoren samo za obradu i skladištenje proizvoda onda takav sustav možemo nazvati 'poluzatvoren'. Takvi su klasični strojarski procesi bušenja, tokarenja i brušenja. Ako je proizvodni proces entropijski otvoren prema okolišu proizvoda, a zatvoren za obradu i skladištenje proizvoda onda takav proizvodni proces nazivamo poluotvoren. Obrada bioloških materijala, prehrambena industrija, obročna proizvodnja i farmaceutika su međutim entropijski otvorene za okoliš proizvoda (u toku proizvodnje!), a zatvorene za obradu i skladištenje, odatle i naziv poluotvoreni ustroji. Kriterij poluzatvorenog sustava za razliku od ravnotežnog sustava jest taj da je vrijeme obrade kraće ili puno kraće od vremena termodinamičke konstante procesa. Tako je prilikom brušenja vrijeme izrade forme dobivene bušenjem redovito puno kraća od vremena termodinamičke relaksacije alata i obratka u okoliš. Kod poluotvorenog sustava je naprotiv vrijeme toplinske konstante procesa puno kraće od vremena ostvarenja funkcije. Primjer je destilacija gdje je proces destiliranja puno dulji od svih toplinske konstanti u procesu. Shema propagacije entropije (na pobudu informacije) za poluotvoreni ustroj prikazana je usporedbeno s poluzatvorenim ustrojem slikom 8.

**Definicija 1.:** Poluzatvoreni proizvodni ustroj  $P_i$  mijenja stanje proizvoda  $S_i$  u stanje  $S_{i+1}$  pod utjecajem ulaza  $I_j$  tako da entropija ustroja  $H_k$  utječe na okoliš iznosom  $O_l$ . Vremenska konstanta promjene stanja proizvoda je puno kraća od vremenske konstante relaksacije entropije u okolišu. Primjer: operacija brušenja u strojarskoj proizvodnji.

**Definicija 2.:** Poluotvoreni proizvodni ustroj  $P_i$  mijenja stanje proizvoda  $S_i$  u stanje  $S_{i+1}$  pod utjecajem ulaza  $I_j$  tako da okoliš iznosom  $O_l$  utječe na promjenu procesne entropije  $H_k$ . Vremenska konstanta promjene stanja proizvoda puno je duža od vremenske konstante relaksacije entropije u okolišu. Primjer: protočni kemijski reaktor.

Navedene definicije odnose se na idealizirani slučaj, jer se u stvarnosti može samo naznačiti koji tok entropije je dominantan: u ili iz procesa u okolinu. Ovo ne isključuje dominantno djelovanje proizvodnje na povećanje entropije u cjelini, kao što npr. dobava plina u postrojenje u Orahovici povećava u nekoj mjeri i entropiju plinskog ležišta Ivana na Jadranu.

## 5. Održavanje entropije informacijom

Postavimo funkcional poluzatvorenog ustroja kao nadskup ulaznih pobuda i stanja procesa po analogiji na onu Asbyja i von Bertalanffyja [3, 20] kao<sup>32</sup>

$$\begin{aligned} f_i^{\text{closed}} &= I_j \cdot S_i = S_{i+1}, \\ O_i^{\text{out}} &\neq \text{const, card. set } (S_i, S_{i+1}) = \text{const} \end{aligned} \quad (7)$$

odnosno prijelaz iz makrostanja  $S_i$  u makrostanje  $S_{i+1}$  odvija se preko konstantnog broja promjena mikrostanja, uz očuvanje finalnosti prijelaza ( $S_i \rightarrow S_{i+1}$ ). Očuvanje broja mikrostanja prijelaza označava održavanje konstantnosti entropije, prema izrazu (6). Slično tome funkcional poluotvorenog ustroja je:

$$f_i^{\text{open}} = I_j \cdot S_i = S_{i+1}, O_i^{\text{in}} \neq \text{const, card. set } (S_i, S_{i+1}) = \text{const} \quad (8)$$

---

<sup>32</sup> Izrazi (7) i (8) navedeni su zbog potpunosti teksta – očito je da se stalnost broj stanja procesa održava na račun privoda energiji i informacije ili potpune reverzibilnosti mehanizma kao u primjerima sa slika 3 i 4.

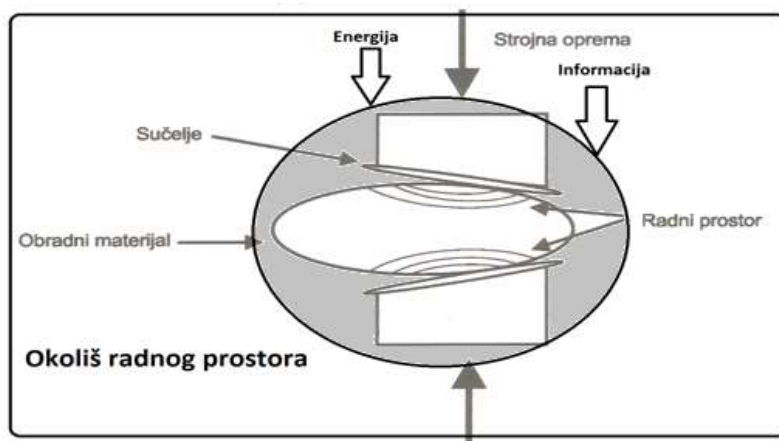
gdje su oznake stanja okoliša  $O_i^{\text{out}}$  i  $O_i^{\text{in}}$  navedenih proizvodnih ustroja.

Održavanje uvjeta konstantnosti kardinalnosti skupa prijelaza proizvodnih stanja  $\text{card.set}(S_i, S_{i+1}) = \text{const}$ , odnosno konstantnosti broja prijelaza između dvaju stanja finalnosti odvija se za svaki ustroj na bitno različite načine. U oba slučaja se dakle okoliš ustroja mijenja na različite načine.

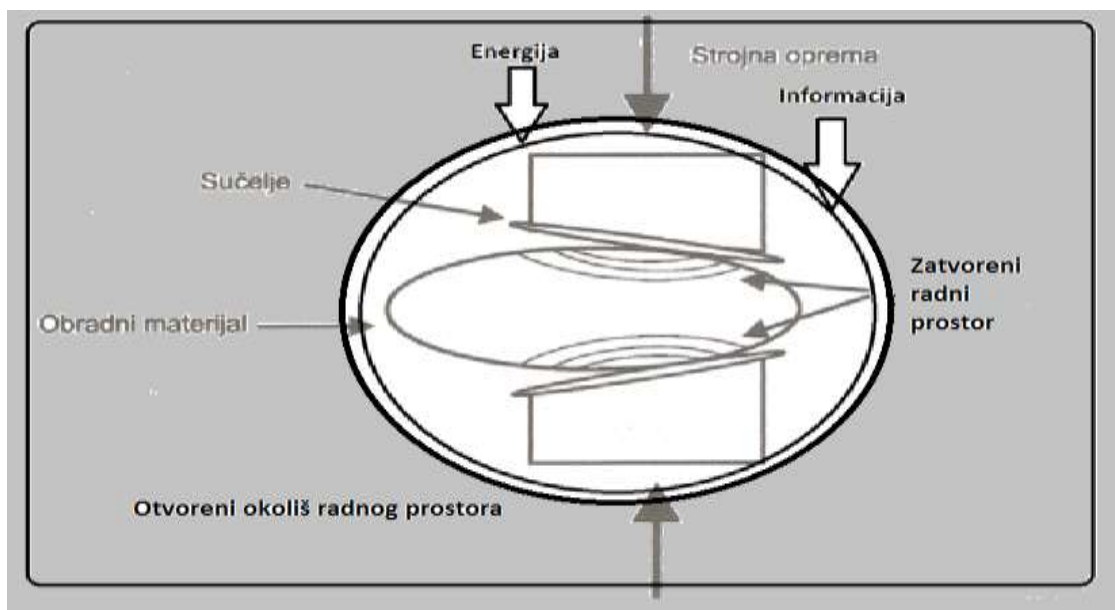
### Održavanje entropije poluzatvorenog ustroja

Poluzatvoreni ustroj, slika 9., održava svoju proizvodnu entropiju konstantnom na račun:

- postojanja plana finalnosti prijelaza  $S_i \rightarrow S_{i+1}$
- kontrolom svih mikrostanja prijelaza
- utroškom znatne energije na održavanje pojedinih mikrostanja i njihovih prijelaza.



Sl. 9.: Shema poluzatvorenog ustroja: privodom energije i informacije održava se konstantna entropija u nezaštićenom radnom prostoru na uštrb povećanja entropije u okolini radnog prostora; strelice označavaju dijelove ustroja i privode



Sl. 10.: Shema poluotvorenog ustroja: privodom energije i informacije održava se konstantna entropija u zatvorenom radnom prostoru na uštrb smanjenja entropije u okolini radnog prostora<sup>33</sup>

Održavanje entropije svakog ustroja izvodi se automatizacijom proizvodnje tako da postavne veličine proces drže konstantnima, a podešavaju se prema predlošcima tehnologa ili se izvode kontrolirani prijelazi između pojedinih stanja procesa. Svi ovi procesi i postupci troše dodatno energiju koja se privodi danom pogonu.

Određivanje stanja entropije ustroja u oba proizvodna ustroja je relativno jednostavno, jer se treba odrediti Carnapov prostor dinamike procesa<sup>34</sup> i odatle izračunati njegova entropija [21, 22, 23, 24] poput primjera sa slika 4. i 5. Ono što nije lako odrediti jest slučaj poremećaja kvalitete proizvoda, jer je to odstupanje od programiranog broja stanja procesa, što je dodatna entropija u procesu, a izvori takvih smetnji su u pravilu nepoznati po porijeklu i utvrdivi tek po posljedici, odnosno tek kada se pogreška ustanovi. Naime, automatizirani i upravljani pogoni te robotizirani strojevi daju uporno proizvode s promjenjivom kvalitetom, htjeli to vlasnici proizvodnje ili ne. Dakle entropija kvalitete proizvoda nije izravno povezana s entropijom pogonskog ustroja. Nešto je treće u igri, očigledno.

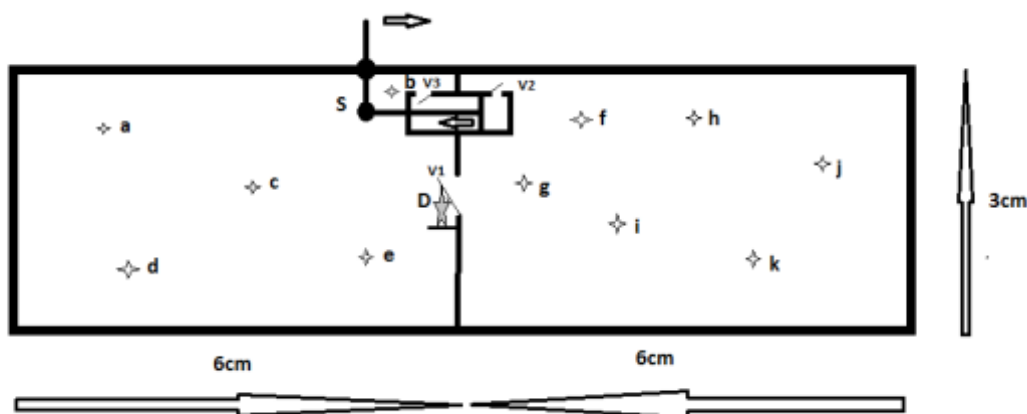
<sup>33</sup> Okoliš poluotvorenog ustroja poput kemijskog reaktora mora se toplinski podržavati, dok to kod poluzatvorenog ustroja poput brusilice gotovo i ne treba.

<sup>34</sup> Carnapov prostor je područje najvećeg opsega svih opisnih varijabli, prostornih i brzinskih

## 6. Primjer smislenosti izračuna entropije Maxwellovog demona

Maxwellov demon<sup>35</sup> je hipotetski konstrukt stroja koji iskorištava razlike u veličinama gibanja pojedinačnih molekula ili čestica u dvjema komorama stroja, slika 11., ne bi li pokušao izigrati drugi stavak termodinamike. On to čini tako da se služi otvorom na pregradi koja odvaja komore i propušta sporije čestice u jednu, a brže čestice u drugu komoru upotrebom ventila V1<sup>36</sup>. Ventili V2 i V3 su samo u funkciji iskorištenja dobivene energije. Pri tome se demon služi informacijom o pojedinačnim brzinama čestica u blizini otvora V1 u pregradi komora.

Odredimo 3D entropiju obiju komora Maxwellovog demona sa slike 11. Neka sve točke zauzimaju podjednake dijelove svojih komora! Koja je dobivena mjera entropije?



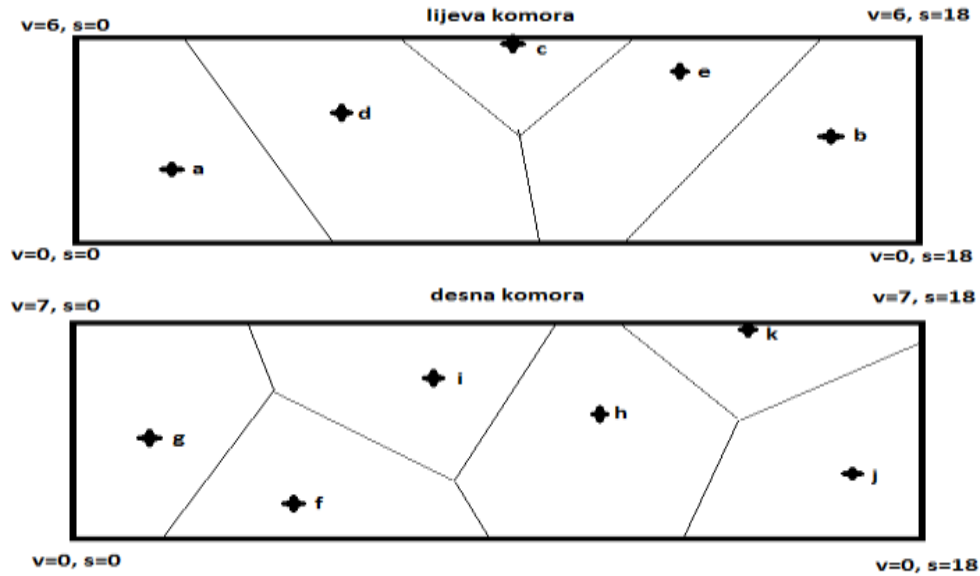
Sl. 11.: Maxwellov demon 'protiv entropije': materijalne točke u 2D imaju sljedeće brzine gibanja:  $a = 2 \text{ m/s}$ ,  $b = 3 \text{ m/s}$ ,  $c = 6 \text{ m/s}$ ,  $d = 4 \text{ m/s}$ ,  $e = 5 \text{ m/s}$ ,  $f = 1 \text{ m/s}$ ,  $g = 3 \text{ m/s}$ ,  $h = 4 \text{ m/s}$ ,  $i = 5 \text{ m/s}$ ,  $j = 2 \text{ m/s}$  i  $k = 7 \text{ m/s}$

Fazni prostor lijeve komore  $\Phi_1$  iznosi  $0,03 \cdot 0,06 \cdot 6 = 0,0108 \text{ m}^3/\text{s}$ , a fazni prostor desne komore  $\Phi_2$  iznosi  $0,03 \cdot 0,06 \cdot 7 = 0,0126 \text{ m}^3/\text{s}$ . Parcijalni udjeli po česticama prema slici faznog prostora na slici 11. su:

- za lijevu komoru:  $ps(a) \approx 0,228$ ;  $ps(b) \approx 0,228$ ;  $ps(c) \approx 0,068$ ;  $ps(d) \approx 0,274$ ;  $ps(e) \approx 0,201$
- za desnu komoru:  $ps(f) \approx 0,251$ ;  $ps(g) \approx 0,174$ ;  $ps(h) \approx 0,213$ ;  $ps(i) \approx 0,136$ ;  $ps(j) \approx 0,145$ ;  $ps(k) \approx 0,081$

<sup>35</sup> <https://www.auburn.edu/~smith01/notes/maxdem.htm>

<sup>36</sup> Već samim prebacivanjem čestica u jednu stranu postiže se cilj ovog zamišljenog pokusa.



Sl. 12.: 2D prikaz trenutnog faznog prostora čestica lijeve i desne komore iz primjera na slici 11. u relativnom mjerilu

Odatle je entropija za lijevu komoru jednaka:

$$\begin{aligned}
 H &= - \sum_5 p_o(i) \ln p_o(i) = \\
 &= 0,228 \cdot 0,642 + 0,228 \cdot 0,642 + 0,068 \cdot 1,167 + 0,274 \cdot 0,562 + 0,201 \\
 &\cdot 0,697 = 0,146 + 0,146 + 0,079 + 0,154 + 0,140 = 0,665 \frac{\text{dbit}}{\text{cm}^2 \cdot /v/} \\
 &= 2,209 \frac{\text{bit}}{\text{cm}^2 \cdot \text{cm/s}} = 2,209 \frac{\text{bit} \cdot \text{s}}{\text{cm}^3}
 \end{aligned}$$

Slično prethodnom izračunu bi entropija za desnu komoru iznosila  $2,498 \frac{\text{bit} \cdot \text{s}}{\text{cm}^3}$ .

Iz prethodnog primjera izračuna entropije možemo zaključiti sljedeće:

- ukoliko se pretpostavi da je bilo koja komora potpuno prazna izračun entropije je besmislen a ako se u njoj nalazi samo jedna čestica, molekula, onda je njezina entropija po Boltzmannu i Carnapu jednaka ničici

– postupak dobivanja energije na ovaj način mora izazvati trošak energije na mjernom uređaju, na mehanizmu odvajanja čestica i na memoriji uređaja koji prati ovaj proces.

Da bi ovo utvrdio Szilard je predložio stroj koji ima na raspolaganju samo jednu molekulu(?). Slično je postupio i Zurek, no proširio je analizu na kvantni stroj s jednom molekulom virtualno u obje komore [26]. Obje ideje se svode na obračun energetske djelotvornosti postava, no s entropijom ne mogu imati nikakve veze jer entropija za jednu česticu po Boltzmannu iznosi ništicu<sup>37</sup>.

## Rasprava

Razmatranje entropije stvarnih procesa zahtijeva zadovoljenje nekih pretpostavki koje su zamislili izvorni autoriteti poput Carnapa i Boltzmann. To su kinematsko-dinamička dimenzija (Carnap) i broj makro- mikrostanja procesa (Boltzmann). Kada se za neki stroj ustanove mikro- makrostanja prema Boltzmannovom načelu onda se izračun entropije može izvršiti korištenjem Carnapove entropije u danim dimenzijama procesa. Mikro-makro stanja ovise o namjeni ustroja i o trenutku opažanja postava. Tu nastupa informacija sa svojom ciljnom komponentom koja se izražava kod strojeva ispunjenjem zadane funkcije, na primjer u ciklusu rada stroja.

Izvršenjem funkcije međutim dolazi do određenih gubitaka energije koji se prenose na okolinu procesa, odnosno ustroja. Istodobno dolazi i do nepoželjnih promjena u postavu stroja i do nereda i/ili rasipanja dijelova obradaka po okolini, odnosno do povećanja broja mikro-makrostanja ili drugim riječima do povećanja entropije. Tu do prednosti dolaze strojevi i mehanizmi s većom reverzibilnosti odnosno s manjim gubiticima energije u radnom procesu, u samom resursu, poput prednosti električnog pred 'klasičnim pogonom' automobila, prednosti 'odvojene konstrukcije' diode od diode u 'gusto' pakiranom integriranom sklopu.

Ovaj je rad ustanovio da se entropija jednostavnih mehanizama može izračunati relativno lako. Ključno je određivanje kinematičkih točaka, odnosno kinematičkih parova i njihovog Carnapovog prostora. Povećanjem broja kinematičkih točaka i povećanjem veličine i broja dimenzija Carnapovog prostora u načelu rastu i entropija i njezina dimenzionalnost. Povećanje je aditivno s brojem točaka, i s brojem dimenzija. Pri izračunu nema potrebe

---

<sup>37</sup> Szilardov rad je bio poticaj Shannonove teorije informacije!

koristiti vjerojatnosni i mnogočestični pristup ili intuitivne metode. Energija i entropija se u radnom ciklusu mogu jednostavno odvojiti.

Za rad parnog stroja su odatle povoljniji *in-line* od *out-of-line* mehanizmi kako su ingeniozno zamijetili već otac i sin Carnot<sup>38</sup>.

Svakako se put do entropije ostvaruje preko Carnapova koncepta ciljnosti informacije. To što se u konačnici i Maxwellov i Szilardov i Zurekov misaoni model svodi na dominantnost informacije u razmatranju rubnih problema entropije kao što je slučaj 'jednočestičnog stroja' samo potvrđuje prethodni navod. Informacija i entropija su komplementarne u smislu određivanja ispunjenja određene ciljnosti informacije – tu mjeru se prati relativno jednostavnim entropijskim izračunom putem logaritamske funkcije<sup>39</sup>.

Statistički pristup teoriji informacije preko mnoštva čestica mora se u doba nanotehnologije zamijeniti višestetičnim pristupom, kao što je ovdje izloženo, a s čime se i za slučaj valnomehaničkog koncepta *a priori* slaže i Zurek [26]. Analiza svakog pojedinačnog slučaja zahtijeva brižljivo određivanje faznog prostora, kinematičkih točaka pojedinih mehanizama i sklopova te poznavanje dinamičke komponente procesa i njegove ciljne funkcije.

Uopće nije jasno zašto se do sada entropiju izjednačavalo s jedne strane s energijom, a s druge strane s 'neredom' u procesu kada njezin izričaj preko logaritma ukupnog broja makro-mikrostanja po originalnoj zamisli Boltzmannova vodi izravno k cilju – analizi stvarnog stanja resursa i okoliša nekog procesa.

U nastavku ovih razmatranja valja se vratiti samom izvoru situacije, a to je još uvijek nejasno pitanje valja li izučavanju ispunjenja ciljnosti nekog procesa pristupiti sa stajališta dubinske analize velikih količina podataka ili sa stajališta njegove trenutne entropije. Moje je skromno mišljenje da je drugi pristup puno djelotvorniji.

## Zaključak

Valjalo bi oprezno no ustrajno početi raditi na racionalnoj upotrebi entropije u proizvodnim procesima u smislu smanjenja nepotrebnog lutanja nad 'hrpama podataka i

---

<sup>38</sup> Tako u smislu *in-line* konstitucije puno bolje djeluju u igri u polju 'niži'nogometaši poput Modrića i Messija od entropiji u polju sklone njemačke momčadi redom s visokim *out-of-line* igračima. Drugo je opet pri promjeni ciljnosti igre kod prekida.

<sup>39</sup> Logaritamska funkcija daje aditivnost u opisu procesa koji su u principu multiplikativni poput 'mapiranja' ulaz-izlaz u slijedu promatranja konzistentnosti ponašanja nekog mehanizma.

činjenica' koje su irelevantne za stanje nekog procesa u nekom trenutku. Entropija očito nema stohastički karakter kako se naivno pretpostavlja!

## Literatura

- [1] Carnot S., *Reflections on the motive power of fire*, Chapman & Hall Ltd, London, 1897.
- [2] Popovic M., Researchers in entropy wonderland: A Review of the entropy concept, <https://arxiv.org/abs/1711.07326>.
- [3] L. von Bertalanffy, *General Systems Theory* (2015.), 18. izdanje, George Braziller, Inc., Wolfgang Hofkirchner i David Rousseau, str. 39-41.
- [4] Boltzmann, L. (1974.). *The second law of thermodynamics (Theoretical physics and philosophical problems)*, Springer-Verlag New York, LLC.
- [5] Shannon, C., A mathematical theory of communication, *The Bell System Technical Journal*, 1948., 27, 379-423.
- [6] Schrödinger E., *What is life? The physical aspect of the living cell*, Cambridge University Press, X. printing, 2003.
- [7] Von Neumann, John (1932.), *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Berlin: Springer.; Von Neumann, John (1955). *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. Princeton University Press.
- [8] Prigogine I., *Etude thermodynamique des phenomenes irreversible*, Dunod, Paris, 1947.
- [8a] *Entropy* 2019, 21(3), 251; <https://doi.org/10.3390/e21030251>
- [9] Borš V., *Integralna teorija Kena Wilbera*, FF press, Zagreb, 2012.
- [10] Jović F., *Geometrijska linijska holografija*. Kiklos – krug knjige, Zagreb, 2015., str.81-82.
- [11] *ibid.*
- [12] [31] Clayton J., Giaque, W., The heat capacity and entropy of carbon monoxide, *J. Am. Chem. Soc.*, 1932., 54, 2610-2626.
- [13] Gibbs J. V. (1878.), On the equilibrium of heterogeneous substances, *Am. J. Sci., Series 3*, Vol. 16:441-458.
- [14] Jaynes F.T., Gibbs vs Boltzmann Entropies, *American Journal of Physics*, Vol. 33, No.5, 391-398 May 1965.
- [15] Layzer D., The Arrow of Time, *Scientific American*, Vol. 223, December 1975., p. 56.
- [16] – Entropy in chemistry: Entropy – Wikipedia; <https://en.wikipedia.org/wiki/Entropy>
- [17] v. u [3], str. 120-139.

[18] ibid [10], str.77, str. 95.

[19] Ropohl G., *Allgemeine Technologie*, 3. prerađeno izdanje, Universitätsverlag Karlsruhe, 2009., str. 107-125.

[20] Ashby W.R., *Principles of the Self-Organizing System*, in *Principles of Self-Organization*, H. von Foerster and G. W. Zopf, Jr., editors, New York, Pergamon Press, 1962., str. 102-126.

[21] Jović F., Jović, A., Krmpotić, D., *Quality control engineering in automated ceramic tile production using a signal information content approach*. //Advanced engineering informatics, 27(2013), 1; 93-107.

[22] Pudmetzky A., Teleonomic entropy measuring the phase-space of end-directed system, *Appl. Math. Comput.*, 162 (2) 205, 695-705.

[23] Chakrabarti C. G., Chakrabarty I., Boltzmann entropy: probability and information, <https://arxiv.org/pdf/0705.2850>.

[24] Jagnjić Ž, Bogunović N., Pižeta I., Jović F., Time series classification based on qualitative space fragmentation, *Advanced Engineering Informatics*, 23 (2009), 1; 116-129.

[25] Szilard L. (1929). Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen (On the reduction of entropy in a thermodynamic system by the intervention of intelligent beings), *Zeitschrift für Physik*. 53 (11–12): 840–856.

[26] Wojciech H. Zurek, Eliminating Ensembles from Equilibrium Statistical Physics: Maxwell's Demon, Szilard's Engine, and Thermodynamics via Entanglement. Theory Division, LANL, MS B213, Los Alamos, NM 87545. arXiv:1806.03532v1 [quant-ph] 9 Jun 2018.