

Informacija o svrhovitim mehanizmima

Vlasnik informacije nema konkurenciju.
(*anonymni ekonomist*)

Sažetak: Entropija je povijesni inženjerski alat za izučavanje svrhovitih mehanizama, ponajviše strojeva s unutarnjim izgaranjem (otac i sin Carnot, 1803.), dakle pragmatičkih struktura koje za svoj rad koriste energiju i projektantsku inventivnost. U znanstvenoj praksi prvo je već pri samoj definiciji entropije ‘nestala’ svrhovitost strukture (Clausius, 1850.), zatim sama struktura stroja (Gibbs 1860.), onda razdioba energija (Boltzmann 1870.), a onda je nestala i materijalna podloga funkcioniranja procesa (Shannon 1948.). Ostao je samo vjerojatnosni prostor na kojem se prostire Shannona entropija, koju je s dozom skepse sam Shannon proglasio teorijom informacije i s kojom je uspješni svijet ušao u četvrtu industrijsku revoluciju. S pojavom Carnapa (1956) ponovno je oživjelo istraživanje svrhovitosti struktura i informacije u prostoru i vremenu. No dohvatljivost materijalne supstancije i energije sklopova i uređaja potonula je u dovrtljivost prakse gdje se entropija koristi samo u segmentima projekta i projektiranja opreme jer je cjelina računarski teško dohvatljiva.

Prikazana je na jednodimenzijskom prostoru zasnovana jednoznačna abecedna entropija koja je upotrebljiva u ciljnoj sintezi industrijskih postrojenja. U radu su osim povijesnog pregleda dani jednostavni primjeri i granice njezine primjene na Carnapovim zasadama. No Carnapov pristup prostoru i vremenu dao je, u načelu minimuma trenutne entropije, utemeljenost koja prelazi granice proučavanja strojeva i kodova i ima značaj za drugačiji pristup na klasičnoj fizici zasnovanih osnovnih zakona gibanja tijela i strukture svemira.

Ključne riječi: entropijski prostor, entropijske jedinice, izračun entropije

Uvod

Popularno je mišljenje da inženjeru u praksi treba poznavanje fizike. Tako se i školuje. Ništa manje točno od toga. Možda mu za ‘kultiviranje i brušenje mozga’ treba fizika, no za praksu inženjeru trebaju praktična znanja. A ona se

zasnivaju samo na praksi! To znači da netom diplomirani inženjeri nisu pripremljeni za praksu, što je zapravo dobro, jer bi inače njihova praksa izgledala prilično čudno. Naime oni bi, htjeli to ili ne, zastupali u pravilu zastarjelu tehnološku praksu svojih profesora.

Ono što je najvažnije za praksu su inženjerski osjećaj za mjeru, instinkt i širina pogleda. Dok se instinkt i širina pogleda mogu s praksom i godinama projektiranja poboljšavati, inženjerski osjećaj za mjeru može se poboljšati i jednim povijesnim pomalo zaboravljenim alatom koji se zove entropija. A zašto bi entropija mogla biti inženjerski alat? Ona razvija osjećaj za određivanje ciljne funkcije i u dobrom broju slučajeva daje i mogućnost njegove mjere. I sam fizičar Feynmann govori o entropiji kao o inženjerskom terminu¹.

No jedno je sam termin, a drugo je njegova primjena. Naime, u praksi se pojavljuju barem četiri 'glavne vrste' entropije: termička, rezidualna, Shannona i Carnapova s mnoštvom podvrsta i desetak pojmova vezanih uz pojedinu od njih. Autor Shufeng Zhang smatra i dokazuje da termička entropija nije fizikalna veličina [1], dakle da nije fizikalno mjeriva veličina.

Povijesno se pojam entropije pojavio u vezi s praksom rada parnog stroja. Pojava parnog stroja promijenila je život u XVIII. stoljeću. Žargon, ideali i modeli drugačije vrste preplavili su društvo. Počela je neviđena ekspanzija društva, jer su osnovni proizvodni i transportni pogon, ograničenu ljudsku i tegleću snagu životinja, zamijenili strojevi. Parni stroj stekao je kulturni status, a njegovo izučavanje bilo je ravno magiji. Jedan od pojmova koji se tad postupno kristalizirao i dodatno pridonio toj tajanstvenosti bila je entropija. Kao da je dosta od tog statusa ostalo i danas. No, je li zbog čvrste povezanosti s parnim strojem ili zbog njegova postupnog apstrahiranja u teorijsko-znanstvenoj uporabi, pojam entropije nije dovoljno praktično iskorišten, iako je žargonski čest.

Da bi se ovaj pojam mogao koristiti, potrebno je znati na što se referira i kako se interpretira. Tablica 1. daje pregled referentnog sustava, interpretacije i uobičajenog korištenja pojedine 'vrste entropije'. Navedeni su i glavni autori odnosno pokretači pojedinih ideja i razdoblje nastanka, te zablude.

Laici pojam entropije uglavnom ne koriste jer ga vjerojatno nedovoljno poznaju. No inženjeri ne bi smjeli provesti radni vijek kao projektanti, konstruktori, monter i ispitivači uređaja, pogona i strojeva da taj pojam aktivno ne koriste. O čemu se tu radi? Entropija je kao ideja vezana na sustavno razmatranje 'svrhoviti prostor uporabe' nekog sklopa, uređaja ili sustava, za njegovu konstrukciju i energetiku. Povijesno je entropija vezana uz proučavanje poboljšanja rada parnog stroja. Entropija u inženjerskom smislu primarno je vezana uz svrhovitost uređaja i opreme koju oni projektiraju, razvijaju, ugrađuju i puštaju u uporabu jer inženjeri projektiraju i razrađuju predmete isključivo svrhovite uporabne vrijednosti.

¹ U radu *Lectures on Physics*, dio 1, str. 44.12; Feynmann zanemaruje i rezidualnu entropiju.

Tablica 1.: Referentni sustavi glavnih ‘vrsta entropije’: glavni autori, referentni sustav, interpretacije, područje primjene i razdoblje nastanka²

Naziv	Termička entropija ³	Rezidualna entropija	Kodna entropija	Prostorno-vremenska ciljna entropija ⁴
Glavni autori	Clausius, Boltzmann, Gibbs	Giauque ⁵	Shannon ⁶	Carnap
Referentni sustav	termički sustav dvaju slobodnih rezervoara topline	termički sustav više spregnutih rezervoara topline na niskim temperaturama	komunikacijski kanal	fazni prostor tijela u mirovanju ili gibanju s ciljnom funkcijom
Interpretacije	učinkovitost korištenja i razmjene topline	strukturni defekti u prijenosu topline na niskim temperaturama	učinkovitost kodiranja i prijenosa kodova	mjera ispunjenja ciljne funkcije promatranog mehanizma
Vrsta procesa, primjer	termika slobodnih čestica – poput slobodnog plina	termika vezanih čestica – poput kristalne rešetke leda	razmjena podataka kodovima kao pri komunikaciji na kanalu	dinamika zauzimanja dijelova faznog prostora kao kod gibanja planeta
Uobičajeno korištenje termina	pri projektiranju termoenergetskih postrojenja	pri kristalografskim studijama poluvodiča	pri zaštiti u prijenosu i za ubrzanje prijenosa	pri projektiranju kinematike i dinamike sklopova i uređaja
Uobičajena zablude laika	”mjera nereda”	nepoznati pojam	”mjera nereda”	nepoznat pojam
Razdoblje nastanka	≈ 1860. – 1920.	≈ 1930. –	≈ 1948. –	≈ 1956. –

Jedna od definicija termičke entropije je: “(termička) entropija je mjera broja specifičnih realizacija ili mikrostanja” [2]. Druga definicija utvrđuje da je entropija: “konfiguracija ili aranžman atoma i molekula u sustavu” [3]. Autor Popović [4] primjećuje da za razliku od definicije iz [3] definicija iz [2] rabi primjerenije riječi ‘mjera broja mikrostanja’ umjesto ‘konfiguracija ili aranžman’ za definiciju termičke entropije. ‘Konfiguracija ili aranžman’ riječi su primjerenije za rezidualnu, Shannonovu i Carnapovu entropiju. Treća je definicija ona iz kemijske termodinamike: “Kvalitativno, entropija je jednostavno neka

² Sve u prvom kvadrantu Kena Wilbera.

³ Pojam je povijesno evoluirao iz područja toplinskih strojeva u područje kemijske termodinamike.

⁴ Abecedna entropija kao jednodimenzijska izvedenica Carnapove entropije obrađena je kasnije.

⁵ Vidjeti [2] Clayton, J., Giauque, W., The Heat Capacity and Entropy of Carbon Monoxide, J. Am. Chem. Soc. 1932, 54, 2610-2626.

⁶ zaslužan je i Weaver

mjera koliko se energija atoma i molekule više širi u proces” [5]. Ova je definicija sukladnija s Clausiusovom originalnom namjerom da poveže entropiju i energiju.

Budući da će detalji pojedinog pristupa biti razrađeni, postavlja se pitanje odakle toliki nesporazumi oko termina entropija? Odgovor je jednostavan: brzo širenje pojma na druga područja znanosti i zaludenost društva toplinskim strojevima. Entropija se, dakle, kao pojam i analitički alat strelovitom, gotovo internetskom, brzinom proširio i na ona područja znanosti i tehnike u kojima njegova primjena zahtijeva oprez, besmislena je ili krajnje opasna. Sve je shvaćeno kao stroj: predmeti, pojave, procesi, bića i odnosi. Ova neshvatljiva i opasna opsjednutost XIX. stoljeća, zvana mehanicizam u filozofiji, nije ni danas prestala. Područja koja su imala najmanje koristi od entropije ona su gdje se pojava ili proces teže ili gotovo nikako ne mogu ‘modelirati strojevima’, a to su prije svega biologija, humanističke znanosti i ekonomija.

U radu će se razmotriti Carnapova entropija u klasičnom obliku: kao statička entropija prostor-vrijeme i kao dinamička ili trenutna entropija tijela u gibanju, odsječak 1. Dat će se kratak povijesni prikaz razvoja ideje entropije, odsječak 2., Carnapova abecedna entropija s primjerima, odsječak 3., te mogućnosti primjene entropije u drugim područjima znanosti, odsječak 4., i tehnologije, odsječak 5. U raspravi će se upozoriti na mogućnosti primjene ovog pristupa na konstrukcijama i projektima i iz područja nanotehnologije.

1. O Carnapovoj entropiji bez suvišnog uplitanja pojma energije

1.1. Revidirani pristup zamisli Carnapove topološke entropije

Ciljna ili teleonomska entropija razmatra entropiju pojedinačnih objekata u nekoj ciljnoj strukturi. Npr. entropiju rasporeda stolaca u učionici u svrhu uočavanja postignutog ‘reda u učionici’. Mjera podjele prostora u tom slučaju određuje prostorne segmente Voronojeva dijagrama koje ‘zauzimaju’ pojedini predmeti⁷. Odnos veličina tih prostora i njihova razdioba prema traženoj ciljnoj raspodjeli ‘reda u učionici’ određuju trenutno stanje ciljne entropije. Teleonomsku entropiju prvi je izrazio filozof Rudolf Carnap (1956.). Ona obuhvaća izračun informacije u danom prostoru stanja prema informaciji željenog prostora stanja i dinamiku tog kretanja [6].

Rudolf Carnap (1956.) uveo je opći, n -dimenzijski prostor sustava koristeći sustavski prostor od n varijabli unutar teorijskih granica od R^n , μ je u

⁷ Georgij Voronoj (1868. – 1908.), ruski i ukrajinski matematičar

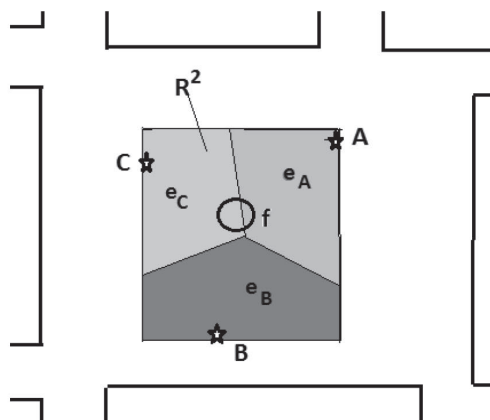
maksimumu jednak n . Svaka sustavska varijabla u_i u gornjem slučaju prostorne varijable X i Y dana je unutar svojih minimalnih i maksimalnih granica vlastitog prostora φ_i . Tako svaki dvo-, tro- ili više-dimenzijski prostor proizvodi pripadni Voronojev dijagram. Odgovarajući prostor e_j koji određuje neka ćelija u tom prostoru dan je za svaku mjernu točku $e_j b_j(u_{i1}, u_{i2})$ kriterijem najmanjeg razmaka prema susjednim ćelijskim mjernim točkama.

Povezivanja relativnog omjera svakog zauzetog prostora i teorijske granice mogućnosti njegova prostiranja, dvojni logaritam te relacije naziva se Carnapova entropija⁸ [6]:

$$I_c = -\sum_j \frac{e_j}{R^u} \text{ld} \frac{e_j}{R^u} \text{ (bit/volumen prostora stanja)} \quad (1)$$

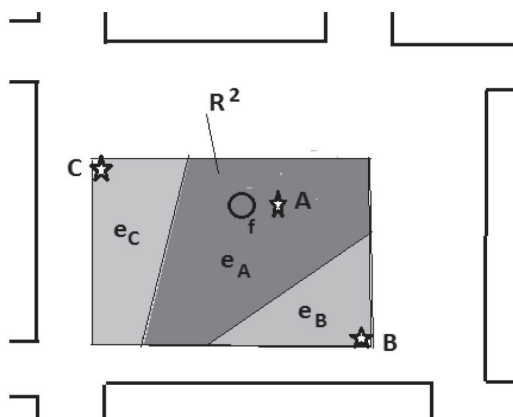
Vremensko-prostorna trajektorija sustava proizvodi dinamički Voronojev dijagram koji se može obilježiti i usporediti sa željenom teleonomskom trajektorijom sustava. Odatle Carnapova entropija može mjeriti entropiju teleonomskih sustava. Znajući da su svi tehnički uređaji ciljane namjene, onda je Carnapova entropijska mjera njihov prirodni informacijski alat.

Razmotrimo jednostavan primjer, slika 1., gdje je nadzorna kamera na većem trgu u jednom trenutku identificirala tri potencijalno opasne osobe, A, B i C. Zanimarimo li ostale osobe i ogradimo li njihov maksimalni prostor, zvan fazni prostor R^2 koji one obuhvaćaju te ga 'pravično podijelimo' među njima



Sl. 1.: Voronojev dijagram Carnapove entropije za situaciju kad tri potencijalno opasne osobe A, B i C eventualno planiraju odložiti nešto u fontanu 'f' na trgu; pripadni prostor je R^2 , a potprostori e_A , e_B i e_C dobiveni su kriterijem najmanjeg razmaka prema susjednoj mjernoj točki (A, B ili C)

⁸ Dok se Voronojev dijagram odnosi na općenitu pravilnost zauzimanja prostora, za Carnapovu entropiju to mora biti minimalni prostor rasprostiranja kinematičkih točaka tijela, odnosno ćelija, relevantnih za dani opis aranžmana okolnosti.



Sl. 2.: Ciljna situacija na trgu: osobe C i B očigledno su poslužile za odvlačenje pozornosti, a osoba A prišla je fontani; vidljive su razlike u udjelima u faznom prostoru sad prema onima na slici 1.

dobili smo Voronojev dijagram Carnapove entropije u dvije dimenzije za te osobe. Iz relativnog udjela faznih potprostora e_A , e_B i e_C u faznom prostoru R^2 mogli bismo izračunati određenu mjeru rasporeda praćenih osoba, zvanu Carnapova entropija, no zaključiti o nečemu možemo tek kad bismo znali kakav je dogovor među praćenim osobama, to jest što im je cilj.

Slika 2. prikazuje ciljnu situaciju kad osoba A prilazi fontani. Razvidna je promjena u podjelama faznog prostora R^2 prema slici 1. Ona odražava i u kontinuiranoj promjeni entropije prikazane scene. No istu entropiju dobili bismo ako bi se zamijenile uloge osoba, što upućuje na određene granice entropijskog opisa u smislu praćenja svrhovitosti situacije. No ako bismo znali cilj akcije terorista, entropija bi mogla biti egzaktno mjerilo izvršenja tog cilja čak i prije njegova izvršenja. Za dinamičke objekte brzine su ključne varijable stanja, koje proizlaze iz priče ili opisa konkretne situacije ili okolnosti samog aranžmana.

Ovdje uočavamo cjelinu priče koja se sastoji od četvorke: 1) konkretne vremensko-prostorne situacije ili 'aranžmana' (trg, ljudi, fontana, osobe potencijalni teroristi, fontana, kontrolne kamere), 2) 'apstrakcije' koja zanemaruje očigledno nevažne detalje (nevažne ljude, vrijeme dana, veličina trga, broj kamera ili radiouređaja...), 3) 'ciljne funkcije' potencijalnih terorista, skrivene ili poznate (ciljna funkcija nadzora i ljudi iza nje vrijedna je pretpostavka, ali o njoj se dalje ne vodi računa!) i 4) 'izračun' karakterističnog detalja zasnovan na Carnapovoj ideji prostor-vrijeme-objekt-cilj (ovdje je dovoljan položaj praćenih objekata u faznoj ravnini)⁹.

⁹ četvorka: (aranžman – apstrakcija – ciljna funkcija – izračun) podsjeća na Jungov kvaternion modela savršenosti, više u <http://www.semioticon.com/virtuals/multimodality/mair.htm>; konkretno je kvaternion kao uspješan model primjenjiv u fraktalima, molekularnom dokingu, strukturi DNK, kognitivnoj psihologiji, nebeskoj mehanici

Problem koji s nekim razlogom nije spomenut u Carnapovoj zamisli samog izračuna entropije jest slučaj jednakih mjernih veličina pri opisu stanja sustava i slučaj ekstremne redukcije dimenzija sustava na samo jednu dimenziju.

Važno je naglasiti da pitanje evaluacija slučaja višestrukosti točaka u prostoru stanja postoji kao stvarni prosudbeni problem. Razlog je stanje tehnologije studiranog automatiziranog proizvodnog procesa, često dugotrajno u jednom stanju procesnih varijabli, što izravno slijedi iz zahtjeva za vođenje sustava prema kvaliteti konačnog proizvoda. Dakle, takvo striktno stanje postoji i ono je ustvari i željeno stanje rada postrojenja u velikom dijelu rada konkretnih sustava.

Pokusom u praksi pokazano je da je jednodimenzijska Carnapova entropija¹⁰ prikladna za jednoznačno određivanje entropije pojedinih mjernih mjesta u procesu (v. abecedna entropija [16]).

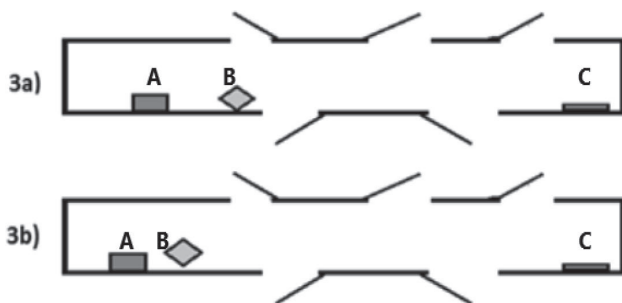
1.2. Carnapova entropija statičkih stvari i objekata

Počevši od projektnog zadatka inženjeri mogu pristupati razradi pojedinih detalja (poput statike, kinematike, dinamike, funkcije, energetike, zaštite) neke cjeline, spoja, ustroja, uređaja, sklopova i strujnih krugova koristeći ovaj tehnicu tako sklon pojam. Entropija nekog detalja razrade jest i tiče se ‘aranžmana okolnosti uporabe danog sklopa’, uređaja ili sustava tako da se prilagođuje danom svrsi. Karakterističan prostor neke uporabe naziva se i jest njegov ‘fazni prostor’. Uobičajeni fazni prostor kod objekata, predmeta i kretanja jest stvarni prostor i prostor brzine kretanja ustroja ili njegovih dijelova, entiteta. Prostor je “svetinja” pri projektiranju i uporabi zgrade.

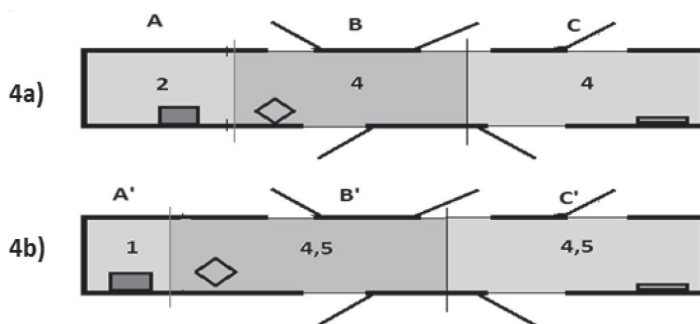
Temeljno pravilo Carnapove entropije jest da entiteti ustroja pravično dijele svoj fazni prostor, što u praksi projektiranja prostornih dimenzija zgrada često nije slučaj, jer ciljna funkcija korisnika i projektanta ne mora biti ista. U konačnici logaritam udjela prostora entiteta ustroja pomnožen s udjelom daje informacijski sadržaj udjela tog entiteta. Zbroj svih informacijskih sadržaja svih entiteta daje iznos entropije danog ustroja u danom faznom prostoru. No mjera je uvijek bit po jedinici volumena faznog prostora. Pokušajmo to ilustrirati jednostavnim primjerom.

Odredimo Carnapovu entropiju razmještaja predmeta na tlocrtu podužeg hodnika, dakle primjer iz arhitekture. Osnovno jest to da arhitekt prvo odredi što bi bila svrhovitost tog razmještaja iz čega slijedi i idealan razmještaj predmeta. Ovakav bi razmještaj prema iskustvu arhitekta omogućio, na primjer, najjednostavniju upotrebu hodnika od strane korisnika. No, često je razmještaj predmeta vrlo subjektivan. To, naravno, nije razlog entropiju proglasiti subjektivnim alatom!

¹⁰ DNK spirala primjer je takve jednodimenzijske strukture.



Sl. 3.: Realni 3a) i idealni ili ciljni 3b) razmještaj triju predmeta u hodniku



Sl. 4.: Razdioba prostora u hodniku: točkasto su označene pozicije predmeta: 4a) realni slučaj, 4b) idealni slučaj; potprostori su osjenčeni

Tlocrt je prikazan slikom 3., gdje su predmeti: stolac A, stolić B i vješalica C prikazani pojednostavnjenom shemom. Slika 3a) daje trenutni stvarni, a slika 3b) idealni razmještaj predmeta u hodniku. Shema na slici 3. već je dovoljno dobra apstrakcija aranžmana.

Drugi korak u postupku određivanja entropije jest odrediti koji dio prostora entitet-predmet zauzima. Aproksimiramo li predmete točkama dobivamo sliku 4a) za idealni i 4b) za stvarni razmještaj. Na slici 4b) osjenčeni su pripadni potprostori koje zauzimaju predmeti u tlocrtu.

Treći je korak izračun proporcija koje entitetski potprostori zauzimaju. Izračunati podaci zauzeća dani su u tablici 2.

Četvrti je korak izračun entropije idealnog i trenutnog zauzeća hodnika namještajem. Entropija se računa kao zbroj svih parcijalnih udjela pomnoženih s logaritmom na bazi dvaju od tih udjela, dakle prema (1):

$$H = - \left(\frac{P_A}{P} \lg \frac{P_A}{P} + \frac{P_B}{P} \lg \frac{P_B}{P} + \frac{P_C}{P} \lg \frac{P_C}{P} \right), \frac{\text{bit}}{\text{m}^2} \quad (2)$$

ili

$$H = -(-0,464 - 0,529 - 0,529) = 1,522 \frac{\text{bit}}{\text{m}^2}$$

za realni razmještaj, ili:

$$H = -(-0,332 - 0,518 - 0,518) = 1,368 \frac{\text{bit}}{\text{m}^2}$$

za idealni razmještaj predmeta u hodniku. Kao jedinica mjere pojavljuje se bit po kvadratnom metru iako je moguće iz proporcija zauzeća hodnika da bi to mogao biti i bit po dužnom metru.

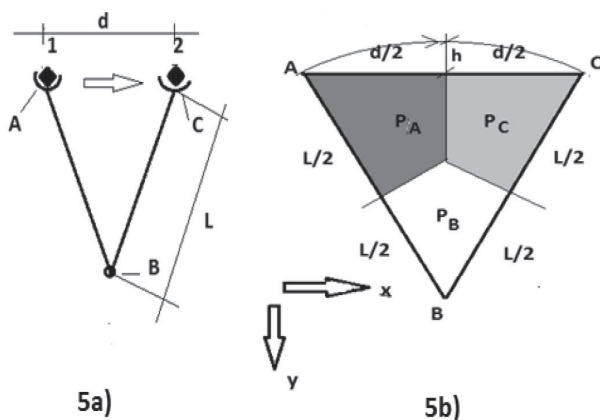
Entropija se povećala pomakom predmeta iz idealnog u realni slučaj. Entropija bi se još više povećala da su predmeti u hodniku zauzeli jednake prostore; tad bi bila $1,584 \frac{\text{bit}}{\text{m}^2}$ hodnika. Iz ovog se ne može zaključiti o nekakvom ‘redu ili neredu u hodniku’, nego samo o mjeri trenutne podjele prostora među predmetima u njemu! Isto tako bi se zrealne raspodjele razdioba pokazale s istom entropijom, što ne bi odražavalo ni u kojem slučaju mjeru zakrčenosti hodnika u stvarnoj uporabi. Isto tako, ni međusobno premještanje predmeta na istim pozicijama ne bi utjecalo na iznos entropije. Dakle, entropija ne bi trebala biti neko apsolutno nego relativno, ali dovoljno objektivno mjerilo uporabe tog prostora. Dakako, u kontekstu idealnog rasporeda predmeta u hodniku.

Tablica 2. Potprostori entiteta sa slike 4., udjeli i njihovi dualni logaritmi

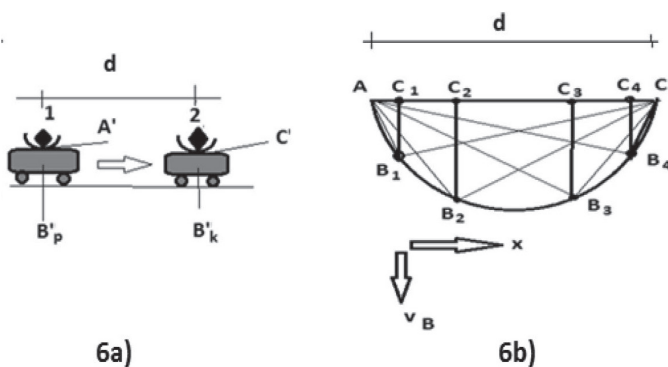
Realni razmještaj			
Entitet	Iznos potprostora u m ²	Udio potprostora	Dualni logaritam udjela
A	4	2/10	– 2,322
B	8	4/10	– 1,322
C	8	4/10	– 1,322
Idealni razmještaj			
Entitet	Iznos potprostora u m ²	Udio potprostora	Dualni logaritam udjela
A'	2	1/10	– 3,322
B'	9	9/20	– 1,152
C'	9	9/20	– 1,152

1.3. Trenutna Carnapova entropija stvari i objekata u gibanju

Da stvari s izračunom entropije nisu posve jednostavne zaključit ćemo već u slučaju idealiziranog prijenosa predmeta u prostoru. Pretpostavimo da se predmet prenosi iz položaja 1 u položaj 2 na dva načina: polužnim mehanizmom,



Sl. 5.: Prijenos tereta iz točke 1 u točku 2; kinematičke točke su A, B i C; prijenos se izvodi polužnim mehanizmom s dovoljno dugom polugom 5a); pripadna fazna ravnina je na slici 5b); zanemarene su brzine prijenosa i podizaj tereta h



Sl. 6.: Prijenos predmeta iz točke 1 u točku 2 na putu d ; shema prijevoza, slika 6a) i fazna ravnina mehanizma prijevoza, slika 6b)

slika 5a) i kolicima, slika 6a). Priloženi su i pripadni fazni prostori pojedinog prijenosa, slike 5b) i 6b).

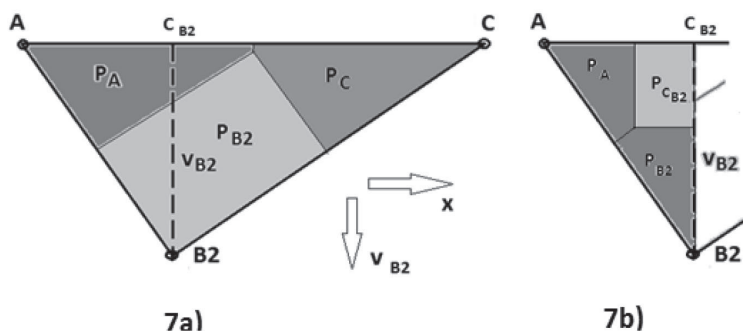
Prikaz faznog prostora za slučaj 5a) je na slici 5b). Slučaj prijevoza kolicima je na slici 6a), a fazni prostor za taj slučaj je na slici 6b). Međutim, fazni prostori na obje slike predstavljaju aproksimaciju stvarnog faznog prostora i ovdje je potrebna pozornost. U slučaju prijenosa polugom pretpostavljeno je zanemarenje brzine prijenosa i podizaja tereta h . Riječ je o određenim zanemarenjima koja su pretpostavljena zbog pojednostavnjenja, ali mogu zamagliti bit postupka.

O čemu je riječ? Osnovno je pitanje određujemo li entropiju cjelokupnog kinematskog prostora ili određujemo li tzv. trenutnu entropiju nekog ustroja

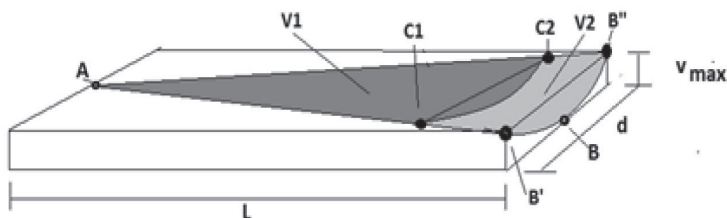
[12]. Prikaz na slici 5b) bio bi primjeren određivanju cjelokupne entropije, dok onaj na slici 6b) teži prikazu entropije u trenucima prijenosa predmeta u etapama, kad je brzina prijenosa redom $v_{B1}, v_{B2}, v_{B3}, i v_{B4}$.

Fazni prostor na slici 5b) pretpostavljen je ujedno bez brzina tereta koji se prenosi, dakle promatra se samo tzv. kinematski prostor gibanja polužnog mehanizma. Pritom je zanemareno stvarno gibanje koje je dio kružnog isječka, naznačeno strelicom na slici 5b. Na ovaj je način dobiven fazni prostor u obliku trokuta podijeljen na potprostore u obliku deltoida, P_A , P_B i P_C . Iznos entropije može se opet izračunati izrazom (2). Fazni prostor u slučaju 6b) bio bi promjenjiv jer bi se položaj projekcije točaka B1... B4 u faznom prostoru mijenjao prema fiksnim točkama A i C, slika 7. Fazni prostor koji bi uzimao u obzir i brzinu gibanja kolica imao bi stvarni oblik kao na slici 6b), odnosno entropija bi se mijenjala s pomakom kolica do sredine, a onda bi se usporenjem kolica vraćala na prvotnu vrijednost.

Probajmo odrediti neke iznose entropije za aproksimativne situacije sa slike 7. Prikazani su primjeri iz dvodimenzijske fazne ravnine. Povećamo li fizički prostor na dvije komponente u smjeru x i u smjeru y , a dodamo li brzinu tijela v , dobivamo trodimenzijski fazni prostor kao i za slučaj gibanja idealnog klatna s prikazom podjele prostora, slika 8.



Sl. 7.: Fazni prostor mehanizma kolica u točki C_{B2} s obzirom na ciljni položaj C, slika 7a); trenutna razdioba faznog prostora u istoj točki s obzirom na trenutni položaj kolica u C_{B2} , slika 7b)



Sl. 8.: Fazni prostor tijela u gibanju u dvije dimenzije prostora i jednoj dimenziji brzine, npr. klatna duljine L ; d je maksimalni otklon klatna; $V1$ i $V2$ particije su faznog prostora jednakog volumena

1.4. Princip minimuma entropije

Princip minimuma entropije utvrđuje da se tijelo u gibanju ponaša tako da se nastoji očuvati na minimumu svoje entropije i entropije s njom povezanih tijela. Promotrimo sliku 9. kao detaljniju studiju slike 7b). Iz sastavnica faznog prostora sa slike 9. lako možemo izračunati da je trenutna entropija tijela u gibanju jednaka:¹¹

$$H = \frac{ab}{4} \lg \frac{ab}{4} + 2 \frac{ab}{8} \lg \frac{ab}{8}, \frac{\text{bit m}^2}{s} \quad (3)$$

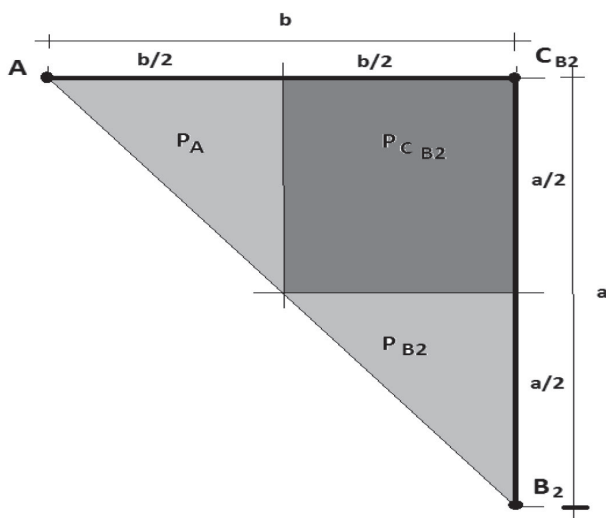
gdje su a i b pripadne sastavnice pomaka položaja i brzine tijela. Budući da su za trenutnu entropiju a i b jednaki v , onda je trenutna entropija tijela u gibanju:

$$H = \frac{v^2}{4} \lg \frac{v^2}{4} + 2 \frac{v^2}{8} \lg \frac{v^2}{8}, \frac{\text{bit m}^2}{s} \quad (4)$$

Promjena entropije jednaka je:

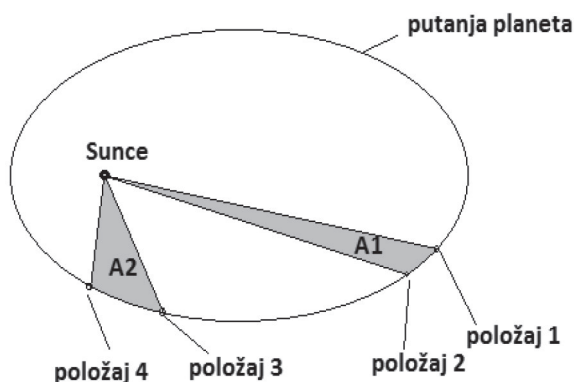
$$\frac{dH}{dv} = v + \frac{1}{2} \lg \frac{v^2}{2} + \frac{1}{2} \lg \frac{v^2}{4}, \frac{\text{bit m}^2}{s^2} \quad (5)$$

Slijedno (4) promjena entropije uslijedila bi zbog promjene brzine pa se stoga princip minimuma entropije poistovjećuje s principom pravocrtnog gibanja tijela u prostoru bez sila.



Sl. 9.: Trenutna entropija tijela u pravocrtnom gibanju, b je komponenta puta, a je komponenta brzine

¹¹ Ovdje nisu više udjeli nego fizikalne veličine pa nema ni negativnog predznaka! Slično kao kod Boltzmanna.



Sl. 10.: Položaji planeta u različitim situacijama: ako su vremenski razmaci između položaja 1 i 2 jednaki onima iz 3 i 4, onda su i fazni prostori A1 i A2 koje oni prekrivaju jednaki

Kad bismo uzeli da je tijelo koje se giba dio nekog gravitacijskog sustava, dobili bismo okolnosti jednake onima kao kod gibanja planeta, slika 10., koje izražavaju treći Keplerov zakon. Povećanje broja varijabli, dakle i faznog prostora iznad tri i složen kinematski prostor važna su ograničenja u praktičnim računalno egzaktnim istraživanjima entropije. Razlog je vrlo jednostavan. Ako svakoj varijabli faznog prostora odredimo preciznost podjele s razlučivošću od jednog promila, onda broj točaka za raspodjelu prostora među entitetima triju varijabli postaje jedna milijarda ili računski $10^3 \cdot 10^3 \cdot 10^3 = 10^9 = 1000000000$. Za deset varijabli to je nedostižnih 10^{30} razdiobnih točaka. Kad bi se uzimala u obzir kinematika i dinamika svih molekula jednog mola kojih ima 6×10^{23} , onda bi prostor stanja iznosio vrtoglavih $10^{3(18 \cdot 10^{26})}$ jer bismo morali uzeti u obzir po tri komponente položaja i tri komponente brzine svake molekule. Pedanti bi mogli zamijetiti da rotacijske i emisijske energetske komponente molekula pritom nisu uzete u obzir. Stoga se i određivanju entropije fizikalno-kemijskih struktura ne može prići preko kinematike i dinamike pojedinačnih gibanja.

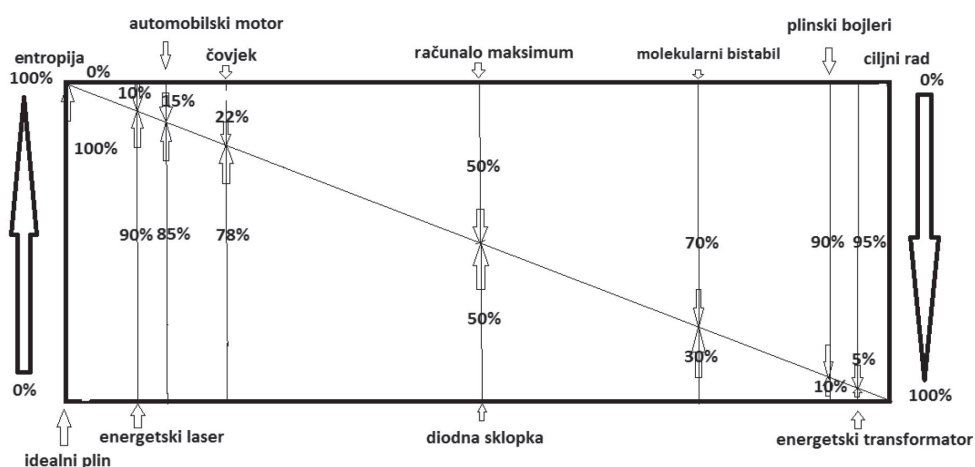
2. Kritičko-povijesni prikaz razvoja ideja entropije

Na temelju iznesenog uočavamo da određivanje entropije nije jednostavan ni možda uopće izvediv zadatak već i za vrlo elementarne projektantsko-konstruktivske situacije. Toga izgleda nisu bili svjesni ni istraživači entropije, počevši s Rudolfom Clausiusom. On je studirajući termodinamiku parnih strojeva oko 1860. uveo pojam entropije da bi ga dovoljno razdvojio od pojma energije [7]. Promatrajući golemo rasipanje energije, koje i danas postoji kod parnih strojeva, mogao je 1867. izjaviti: *The energy of the universe is constant; the*

entropy of the universe tends to a maximum. Svemir, dakako, nije parni stroj i da je samo uzeo u obzir uredno slaganje galaksija u ravnine i planeta u ravninu oko Sunca mogao je bez problema aproksimativno izračunati da barem strukturne entropije galaksija i planeta ne teže maksimumu. No Clausius je imao posve drugo, 'izvanstruktorno' shvaćanje entropije. Ovakvih skrivenih proturječnosti i kod drugih utemeljitelja i istraživača entropije bilo je i ima ih u izobilju.

Naime, vrlo čudna kinetika mehaničkih sklopova parnog stroja dovela je još oko 1800. godine oca i sina Carnota do toga da se pobliže posvete konstrukciji mehanizama parnog stroja utemeljivši tzv. Carnotov ciklus parnog stroja [7, 8, 9, 10]. Clausius je skovao pojam entropije kao proširenu klasičnu termodinamičku varijablu, funkciju stanja koja bi se mogla pokazati korisna u karakterizaciji Carnotova ciklusa parnog stroja [7]. Poput energije, 'entropija' je za njega neka funkcija stanja termodinamičkog sustava, koji je određen i drugim varijablama stanja poput: iznosa masenih tvari (medija) u stroju, volumena stroja, temperature radnog medija, entalpije, unutarnje energije i tlaka medija. Entropija je po njegovu mišljenju trebala predstavljati mjeru one energije koja se ne može pretvoriti u koristan rad stroja kao zatvorenog sustava. Ovime je entropija mogla biti shvaćena kao suprotnost 'slobodnoj energiji' stroja koja se može pretvoriti u 'koristan rad' [11]. Slika 11. prikazuje ovakvo shvaćanje termičke entropije na primjeru različitih energetske situacija i artefakata [12].

Clausius je razmatrao model Carnotova reverzibilnog stroja koji posjeduje dva rezervoara topline, zagrijani i hladni, i svojstvo da su omjeri prijenosa topline na zagrijanom dijelu stroja Q_z i prijenosa topline na hladnom dijelu



Sl. 11.: Udio termičke entropije i ciljnog rada u čovjeka, u pojedinom uređaju, mediju ili sklopu [12]

stroja Q_h proporcionalni temperaturi tih dijelova stroja T_z odnosno T_h prema relaciji:

$$\frac{Q_h}{T_h} = \frac{Q_z}{T_z} \quad (6)$$

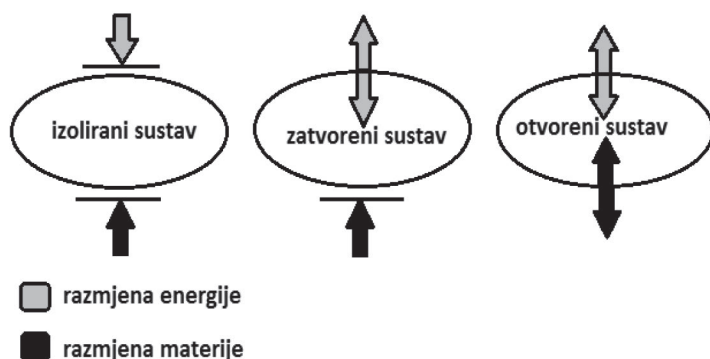
Omjer $\frac{Q}{T}$ po definiciji je promjena entropije ΔH za reverzibilni proces, tj.:

$$\Delta H = \left(\frac{Q}{T} \right)_{\text{rev}} \quad (7)$$

gdje je Q prijenos topline pozitivan za ulazak topline u stroj, a negativan za izlazak topline iz stroja; T je termodinamička temperatura u kelvinima na mjestu odigravanja reverzibilnog procesa. Jedinica mjere su džul po kelvinu, tj. $\frac{\text{J}}{\text{K}}$.

Entropija, dakle, ovisi o stanju procesa prijenosa topline između dvaju rezervoara topline i ako se istekom topline entropija toplog rezervoara smanjuje, ulaskom topline u hladni rezervoar ona se povećava. Kod reverzibilnog stroja prema izrazu (6) vlada ravnoteža toka entropija i ukupna promjena entropije jednaka je ničiti.

Clausiusov općenitiji opis termodinamičkog sustava vezan je s okolinom sustava i prema njemu postoje: izolirani, zatvoreni i zatvoreni termodinamički sustavi, slika 12. Evidentno se entropiju teško može iskazivati u otvorenom sustavu. A svemir je otvoreni sustav¹².



Sl. 12.: Izolirani, zatvoreni i otvoreni sustav: različite definicije zatvorenosti sustava za različita područja prirodnih znanosti i tehnike te društvenih znanosti

¹² Možda kao konačnost i nije, ali kao spoznatost jest.

Opći pregled glavnih otvorenih, zatvorenih i izoliranih područja promatranja dan je tablicom 3. Svaki od njih može biti u vlastitom tipu ‘termodinamičke ravnoteže’ ili ‘neravnoteže’, sam, unutar svojih dijelova ili prema okolišu.

Tablica 3.: Otvoreni, zatvoreni i izolirani sustavi tehnike i znanosti¹³

Područje promatranja	Otvoreni sustav	Zatvoreni sustav	Izolirani sustav
Klasična mehanika	mehanički sustav koji razmjenjuje energiju i materiju s okolinom ¹⁴	ne razmjenjuje energiju s okolinom niti je predmet neke sile izvan sebe	ne razmjenjuje energiju niti materiju s okolinom niti je predmet neke sile izvan sebe
Termodinamika	izmjenjuje energiju i materiju s okolinom	izmjenjuje energiju s okolinom, no ne i materiju	ne izmjenjuje ni energiju ni materiju s okolinom
Kvantna fizika	izmjenjuje informaciju, energiju i materiju s okolinom	ne izmjenjuje energiju ni materiju s drugim sustavom	ne izmjenjuje informaciju ni energiju ni materiju s okolinom ¹⁵
Kemija	razmjena reaktanata, proizvoda i energije s okolinom	nema razmjene reaktanata ni proizvoda, a slobodna je razmjena energije s okolinom ¹⁶	nema razmjene reaktanata, proizvoda ni energije s okolinom
Biologija	slobodna je razmjena energije i materije s okolinom	ne postoje	ne postoje
Sociologija	slobodna razmjena ljudi, materije, energije i informacije s okolinom	kastinska društva	izolirane ljudske zajednice
Teorija sustava	postoji interakcija sustava i okoline	ne dopušta se interakcija sustava i okoline	ne postoje
Tehnički artefakti	neodređenost prilagodbe funkcijske uporabe ¹⁷	određenost funkcijske uporabe ovisna o tipu zatvorenosti	determiniranost rada unutar nekog vremenskog razdoblja
Geologija	postoje samo u povijesnom smislu	određeni su geološkim povijesnim procesima	idealizirani geološki procesi

¹³ Pregled odstupa od AQAL teorije Kena Wilbera.

¹⁴ Okolina može biti i drugi sustav.

¹⁵ Malo neobično jer takav sustav teško da postoji u kvantnoj fizici.

¹⁶ Za termički neovisne reakcije.

¹⁷ Stupanj prilagodbe ovisi o brzini razmjene energije, materije i informacija s okolinom.

Clausiusu je bila posebno zanimljiva klasa sustava koja postiže stanje termodinamičke ravnoteže kao idealizirani Carnotov model [13, 14]. Termodinamičko stanje definirano je svojim varijablama. Svaka promjena neke varijable dovodi do promjene termodinamičkog stanja. Ovo se naziva termodinamički proces. Termodinamički proces može se karakterizirati po tome na koju se varijablu utječe: npr. izotermalnu, izobaričku, izoentalpičnu i sl., te opisati kao reverzibilne ili ireverzibilne s obzirom na to jesu li u energetskej ravnoteži s okolinom.

Reverzibilni proces idealizirana je procesna situacija stroja i nastupa samo u nekoj infinitezimalno maloj promjeni nekog svojstva stroja kad je razmjena energije između stroja i okoline jednaka u oba smjera. To je granično stanje stroja jer zahtijeva neograničeno vrijeme za postizanje ravnoteže stroja i okoline, odnosno ravnoteže dvaju rezervoara topline [13, 14]. Tad se iz male promjene energije računa mala promjena stanja stroja kao termodinamička entropija, tj. prema [4]:

$$S = S_0 + \int_{T=0}^T \frac{Q_p}{T} dT \quad (8)$$

Termodinamička entropija računa se kao zbroj S_0 rezidualne ili rasporedne entropije ('zakočene' kinematičke entropije) i termičke entropije zbog termički prouzročenog kretanja čestica [4]. Q_p je toplinski kapacitet stroja na stalnoj temperaturi T . Rezidualnu entropiju posebno je razmatrao Giauque [2, 4] kao vrlo zanimljivu za studij kristalnih struktura pri niskim temperaturama.

Treći zakon termodinamike, koji postulira da je rezidualna entropija na termodinamičkoj ničstici jednaka ničstici, međutim, zanemaruje 'zakočenu' kinematičku i strukturnu komponentu entropije na 'sobnoj temperaturi' te tako posredno zanemaruje konstrukcijsku komponentu stroja. To čini prostorni raspored dijelova stroja entropijski posve irelevantnim, jer apodiktiki izbacuje sve rasporede kristalnih struktura u njegovoj materijalnoj konstrukciji. Ovime je i stvarna struktura stroja i formalno izbačena iz pojma i računa termodinamičke entropije.

Put izračuna entropije koji je zauzeo Boltzmann bio je još apstraktniji jer je vodio preko stohastičke entropije gdje je pretpostavio da se u sustavu nalazi barem jedan mol medija. Uz pretpostavku jednake vjerojatnosti zauzeća energetskeg stanja svake od 10^{23} molekula dobiva se izraz za entropiju izoliranog sustava u termodinamičkoj ravnoteži preko Boltzmannove raspodjele energija u mediju [4] kao

$$H = k \ln W \quad (9)$$

gdje je W broj različitih mikroskopskih stanja na raspolaganju sustava uz dano makroskopsko ograničenje poput fiksne ukupne energije. Ovime su povezani

mikroskopski detalji ustroja medija ili mikrostanja sustava preko W s makroskopskim stanjem opisanom entropijom H . U Boltzmannovo vrijeme, međutim, medij nije imao materijalnu čestičnu podlogu jer je nisu poznavali, pa je materijalna podloga nastupila tek krajem XIX. i početkom XX. stoljeća preko Plancka. Tad je i određena Planck-Boltzmannova konstanta proporcionalnosti:

$$k = 1,380649 \times 10^{-23} \frac{J}{K} \quad (10)$$

Ona povezuje statističku mehaničku entropiju i klasičnu Clausiusovu termodinamičku entropiju preko izraza:

$$\Delta H = \int \frac{\Delta Q}{T} \frac{J}{K} \quad (11)$$

Konstanta k je 2018. godine proglašena jednom od sedam fundamentalnih mjera materijalnog svijeta. Promatrano makroskopski, entropija se u klasičnoj termodinamici interpretira kao funkcija stanja termodinamičkog sustava. Funkcija stanja ovisi samo o zatečenom stanju stroja neovisno o tome kako je ono postignuto. U bilo kojem procesu gdje sustav odaje energiju ΔQ i čija se entropija smanjuje za ΔH , iznos te energije od barem $T_{ok} \Delta Q$ mora se predati okolini kao neiskorištena toplina, pri čemu je T_{ok} temperatura okoline stroja. Inače se proces ne može dalje odvijati. U klasičnoj termodinamici entropija sustava definira se samo za termodinamičku ravnotežu sustava i okoline. Shvaćena termodinamički, entropija je gubitak dijela energije u procesu koji nije raspoloživ za izvedbu korisnog rada. Drugi pogled na to govori da je ukupna entropija zatvorenog sustava ili u porastu ili granično konstantna. U reverzibilnom procesu entropija je zanemariva.

Izbacivanje termodinamike iz izraza (9) vodi dalje na ideju Shannonove entropije koja je definirana za dvojni logaritam, tj. na izraz:

$$H' = -\lg W, \frac{\text{bit}}{\text{prostor}(W)} \quad (12)$$

koji vrijedi za jednake vjerojatnosti zauzimanja svih W stanja, gdje je dimenzija bit po prostoru W . Ona jednostavno znači da neki stroj s četiri jednako vjerojatna stanja ima entropiju dva bita, $\lg 4 = 2$. Jesu li to ‘ozbiljna stanja’ vašeg dizelskog stroja ili je to ruleta s četverostranom piramidom, Shannonu je posve svejedno. Struktura stroja, medij koji ga pogoni, učinkovitost energije koju troši i cilj kojem teži kao da su nestali u zadnjih 160 godina istraživanja entropije. Ono iz čega možemo izvući informaciju jest kontekstni opis postupka koji smo izvodili pri određivanju stanja spomenutog stroja: je li to vremenska razdioba rada cilindra, vršni tlak u cilindrima ili količina CO po pojedinom cilindru. Tek tad možemo početi govoriti o informaciji.

Međutim, za nejednako vjerojatna stanja, formula (11) mora se prilagoditi tako da uzima svaku vjerojatnost nekog stanja kao parcijalni doprinos ukupnoj entropiji pa Shannonova entropija zapravo glasi [15]:

$$H = - \sum_i^W p_i \log p_i, \quad \frac{\text{bit}}{\text{stanje}} \quad (13)$$

gdje je W ukupan broj stanja, a p_i je vjerojatnost zauzetosti i -tog stanja. Za razliku od prethodnih entropija, Shannonova entropija primijenjena na razdiobe vjerojatnosti komunikacijskih kodova i zalihosti pri ‘ekspanziji kodnog prostora’ dovela je do znatnog napretka u teoriji i praksi telekomunikacija, posebno u pouzdanom i brzom prijenosu podataka. Naime, ako kodnu riječ od deset bitova koja sadrži 1024 različite kodne riječi proširite na dvadeset bitova, onda se te kodne razlike prošire u prostor gdje je svaka kodna riječ prosječno raspršena između 1024 koda koja nisu iz kodnog skupa. Vjerojatnost ispravnog prijma na komunikacijskom kanalu tad raste eksponencijalno s linearnim povećanjem duljine riječi, jer se moguće greške u prijenosu lako detektiraju i isprave. A to je bit današnje ekspanzije tehnički sigurnih računalnih komunikacija.

3. Entropija i informacija komunikacijskog kanala, abecedna entropija

Komunikacijski kanal sastoji se od izvora, prijenosnog medija i primatelja (korisnika). Informacijski komunikacijski kanal može se opisati kodovima poruka ili znakova, koji su ekvivalenti stanjima Boltzmanna, koji se stvaraju na izvoru, prenose prijenosnim medijem i primaju na strani korisnika. Glasovne, pisane ili slikovne poruke danas su u komunikaciji zamijenili dobrim dijelom digitalni signalni kodovi koji su u pozadini računalne komunikacijske stvarnosti. Samo u prijenosnim komunikacijskim medijima oni imaju prirodni analogni karakter koji se očituje u električnim i elektromagnetskim signalima na električkim komunikacijskim medijima ili fotonima u optičkim medijima.

Shannon je izučavao entropiju kodnih znakova na komunikacijskom kanalu koristeći samo vjerojatnosti ili praktički učestalosti kojima se oni pojavljuju. Kodovima koji se češće pojavljuju i imaju veću vjerojatnost pridijelio je manju važnost, a kodovima koji se rjeđe pojavljuju i imaju manju vjerojatnost pridijelio je veću važnost. Osnovnu mjeru važnosti koda odredio je za binarni ishod pravičnog bacanja novčića kad s jednakom vjerojatnosti bude ishod pismo (binarna jedinica) ili glava (binarna ništica). Svakom takvom događaju pridijelio je entropijsku mjeru od jednog bita po takvom događaju, čija je vjerojatnost jednakih udjela jednaka $1/2$ pa fazni prostor ima dva jednaka entitetska prostora:

$$H = -\left(\frac{1}{2}\text{ld}\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\text{ld}\frac{1}{2}\right) = 1 \frac{\text{bit}}{\text{dogodaj}} \quad (14)$$

Kodove i njihovu entropiju Shannon je 1948. godine znatno unaprijedio sustavno uvodeći zalihost ili dodatne bitove danog signala u kodni prijenos. Tako bi, na primjer, utrostručenjem znaka jedinice i znaka ničice dobio mogućnost 'glasanja' na prijamoj strani i tako smanjio mogućnost pogrešnog prijma koda. Ovime je omogućio ostvarenje sigurnog prijenosa do granice prijenosnog kapaciteta medija, odnosno do granice mogućnosti rada sklopova koji prate prijenos kodnih signala u medijima.

Ono što Shannon nije riješio bilo je: ciljnost komunikacije, značenje komunikacijskih kodova i praktičnost komunikacije. Drugim riječima, nije niti pokušao riješiti mjeru svrhovitosti slanja nekog koda za izvor i korisnika, dakle apobetike (teleonomije), niti mjeru praktičnosti dobivanja kodova za ostvarenje komunikacijskog cilja, dakle pragmatike, niti sadržajnu smislenost ili značenje pojedinog koda, dakle semantike za izvor i korisnika. Ono što je podrazumijevao jest da izvor i prijam imaju istu semantiku poslanih znakova, ali kakvu nije mu bilo relevantno. Shannon je ovime uspješno riješio pitanje kodne sintakse.

Današnja tehnologija interneta osoba i stvari, četvrta industrijska revolucija i popratne brze telekomunikacijske tehnologije zvane peta generacija zahtijevaju u svojoj primjeni, na primjer na internetu stvari (engl. *internet of things*), rješavanje zadataka semantike, pragmatike i apobetike.

Carnapova entropija pokazala se upotrebljivom upravo za rješavanje pitanja apobetike, dok su zadaci semantike i pragmatike zasad zapostavljeni. Kako Carnapova entropija pristupa rješavanju zadatka apobetike možemo prikazati na jednom primjeru. Pretpostavlja se jednostavan zadatak: neka struktura ima izgled A, ali je kodno opisana kao struktura A', kao kad bismo 3D strukturu kaputa opisali mjerenjima duljine pojedinih dijelova, poput rukava, opsega ramena i struka. Opisi pripadne strukture mogu se, dakle, izvesti mjerenjima u više koraka. No svaki se mjerni signal može postupkom Δ -modulacije, ternarnim kodiranjem i uzimanjem triju uzastopnih promjena prikazati abecedom iz tablice 4. Prikaz neekspandiranog i ekspandiranog znaka B iz tablice 4. dan je na slici 6. Neekspandirani znakovi kojih je dio prikazan u tablici 4. ne posjeduju jedinstvenost entropije i neupotrebljivi su za primjenu entropije. Isti signali, ali s ekspandiranim kodovima, prikazani u tablici 5., imaju jednoznačnu entropiju i pogodni su za potpuni informacijski opis procesa.

Potpuna abeceda D-moduliranog signala ima 27 znakova, jer se tri kodna položaja mogu kodirati na tri načina iz skupa $\{+, 0, -\}$ te nastupa $3^3 = 27$ kodova. Abecedna entropija primijenjena je na detektiranje skrivenih defekata u radu keramičkih preša i peći koristeći identičnost signala kontrole kvalitete i procesnih signala pojedinih strojeva, pri čemu je procijenjena dobit od oko 1,5 % manje škarta na postrojenju keramičke peći i keramičke preše [16].

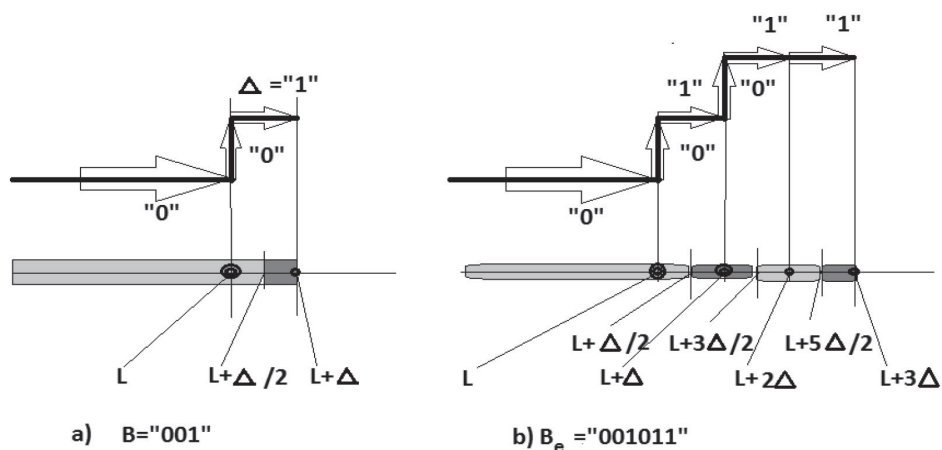
Tablica 4.: Ternarni kod i tok signala za četiri uzastopna mjerenja; razdioba uzoraka mjerenja, jednadžba teselacijske entropije i entropijske jednakosti kodova: L je početna razina signala, Δ je jedinični modulacijski skok; oznake A^* i B^* odnose se na skraćeni prikaz izraza koji prethodi logaritmu; potpuni prikaz abecede dan je u [16]

Kod i tok signala	Razdioba uzoraka signala	Jednadžba teselacijske entropije	Entropijske jednakosti
A = 0 0 0	4L	$I = 4L/L \log_2 L/L = 0$	A
B = 0 0 +	3L, (L + Δ)	$I = 3(L + \Delta/2)/(L + \Delta) \log_2 A^* + (\Delta/2)/(L + \Delta) \log_2 B^*$	B = H = Q
C = 0 0 -	(L - Δ), 3L	$I = 3(L - \Delta/2)/L \log_2 A^* + (\Delta/2)/L \log_2 B^*$	C
D = 0 + 0	2L, 2(L + Δ)	$I = 2(L + \Delta/2)/(L + \Delta) \log_2 A^* + 2(\Delta/2)/(L + \Delta) \log_2 B^*$	D
E = 0 - 0	2(L - Δ), 2L	$I = 2(L - \Delta/2)/L \log_2 A^* + 2(\Delta/2)/L \log_2 B^*$	E = O = Z
F = 0 + +	2L, L + Δ , L + 2 Δ	$I = 2(L + \Delta/2)/(L + 2\Delta) \log_2 A^* + (\Delta/2)/(L + 2\Delta) \log_2 B^* + (\Delta/2)/(L + 2\Delta) \log_2 C^*$	F

Tablica 5.: Puna ekspanzija mjernog signala s tablice 4.: dodane su razlike prvog i drugog te prvog i trećeg kodnog uzorka; prikazane su dobivene razdiobe uzoraka signala i pripadne entropije u jednoj dimenziji razvoja koda: L je početna razina signala, Δ je jedinični modulacijski skok; oznake A^* i B^* odnose se na skraćeni prikaz izraza koji prethodi logaritmu; potpuni prikaz abecede dan je u [16]

Kod	Potpuna ekspanzija toka signala	Razdioba uzoraka signala	Jednadžba teselacijske entropije
A	000000	6L	0
B	00+0++	2L, 2(L+ Δ), L+2 Δ , L+3 Δ	$2(L + \Delta/2)/(L+3\Delta) \log_2 A^* + 3\Delta/(L+3\Delta) \log_2 B^* + (\Delta/2)/(L+3\Delta) \log_2 C^*$
C	00-0--	L - 3 Δ , L - 2 Δ , 2(L - Δ), 2L	$(L - (5/2)\Delta)/L \log_2 A^* + 3(\Delta/L) \log_2 B^* + 2((\Delta/2)/L) \log_2 C^*$
D	0+0+++	L, 2(L+ Δ), L+2 Δ , L+3 Δ , L+4 Δ	$(L + \Delta/2)/(L+4\Delta) \log_2 A^* + 4(\Delta/(L+4\Delta)) \log_2 B^* + (\Delta/2)/(L+4\Delta) \log_2 C^*$
E	0-0---	L - 4 Δ , L - 3 Δ , L - 2 Δ , 2(L - Δ), L	$(L - (7/2)\Delta)/L \log_2 A^* + 4(\Delta/L) \log_2 B^* + (\Delta/2)/L \log_2 C^*$
F	0+++++	L, L+ Δ , L+2 Δ , L+3 Δ , L+4 Δ , L+5 Δ	$(L + \Delta/2)/(L+5\Delta) \log_2 A^* + 4\Delta/(L+5\Delta) \log_2 B^* + (\Delta/2)/(L+5\Delta) \log_2 C^*$

Probajmo primijeniti ovaj jednodimenzijski postupak opisa strukture na određivanje mjere odstupanja oblika molekule etana sa slike 14., gdje su dane Neumannove projekcije dvaju oblika etana. Tablice 6. i 7. daju 3D topološke podatke za dvije konformacije etana: 'klimavu' i 'zaklonjenu'. Slika 14. daje XY projekciju obiju konformacija etana, a tablica 8. daje opis obilaska strukture etana za obje konformacije, pripadne kodove abecedne entropije i same iznose entropije.



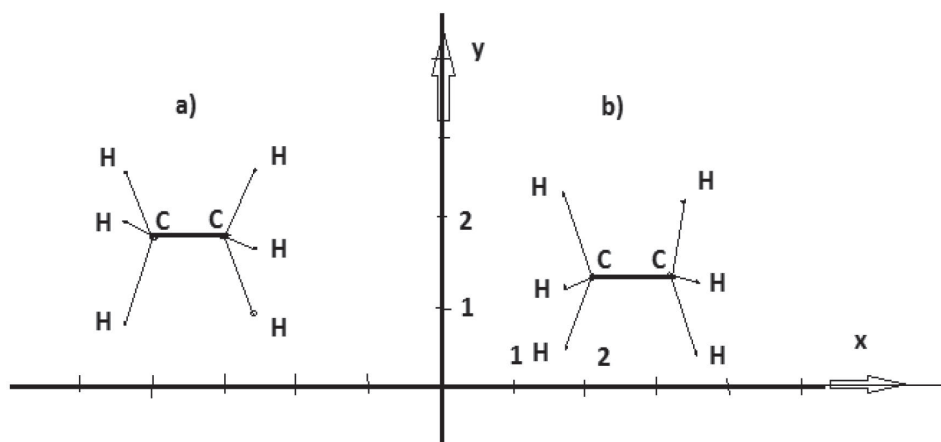
Sl. 13.: Prikaz entropijskih segmenata znaka B iz tablice 4. i ekspaniranog znaka B iz tablice 5. Projekcija na os x prikazuje pripadne fazne potprostore: dva na slici 13a) i četiri na slici 13b), L je iznos prvog uzorka mjernog signala

Tablica 6.: 3D topološki podaci 'klimave' konformacije etana, u angstromima

Naziv atoma	Položaj x	Položaj y	Položaj z
C	-4,045	1,759	0,000
C	-2,975	1,759	0,000
H	-4,402	0,832	-0,399
H	-4,402	2,568	-0,603
H	-4,402	1,877	1,002
H	-2,618	1,641	-1,002
H	-2,618	0,950	0,603
H	-2,618	2,686	0,399

Tablica 7.: 3D topološki podaci 'zaklonjene' konformacije etana, u angstromima

Naziv atoma	Položaj x	Položaj y	Položaj z
C	3,194	1,390	0,000
C	2,124	1,390	0,000
H	3,385	2,379	-0,491
H	3,569	1,376	0,964
H	3,661	0,476	-0,692
H	1,768	1,339	1,007
H	1,768	2,289	-0,459
H	1,767	0,544	-0,548

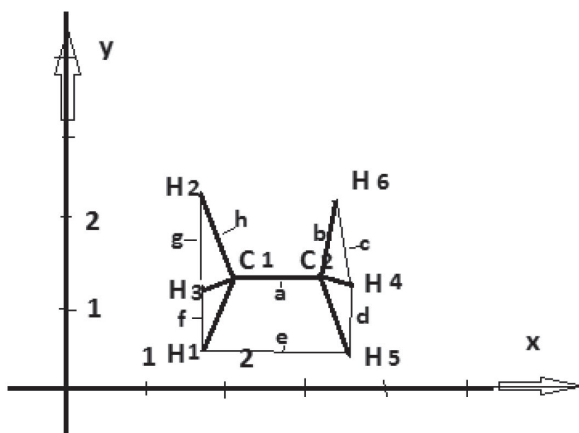


Sl. 14.: XY projekcija a) 'klimave' i b) zaklonjene konformacije etana; sve mjere u angstromima

Tablica 8.: Abecedna entropija potpunog obilaska veza strukture etana – ciklički obuhvat razmaka atoma za zasjenjenu konformaciju – obilazak veza od a do h izveden je u oba smjera

Veza atoma	Oznaka veze ¹⁸	Razmak zasjenjeni etan ¹⁹	Abeceda zasjenjeni etan ²⁰ ↓	Abeceda zasjenjeni etan ²¹ ↑	Abecedna entropija zasjenjeni etan ↓	Abecedna entropija zasjenjeni etan ↑
C1–C2	a	1,070	Y(– – +)	Z(– + –)	2,988	2,248
C2–H6	b	1,069	Z(– + –)	V(+ – +)	2,260	2,190
H6–H4	c	1,746	V(+ – +)	AA(– ++)	2,098	2,410
H4–H5	d	1,747	AA(– ++)	U(++ –)	2,316	1,684
H5–H1	e	1,620	U(++ –)	V(+ – +)	1,533	1,606
H1–H3	f	1,933	V(+ – +)	Z(– + –)	1,182	0,821
H3–H2	g	1,887	Z(– + –)	W(+ – –)	1,519	3,726
H2–C1	h	1,044	W(+ – –)	Y(– – +)	3,004	2,895

¹⁸ oznaka veze prikazane slikom 15¹⁹ sve su mjere u angstromima²⁰ lijevi vijak očitavanja²¹ desni vijak očitavanja



Sl. 15.: Opis veza strukture etana iz tablice 8.

4. Primjene entropije u opisu mehanizama u drugim granama tehnike i znanosti

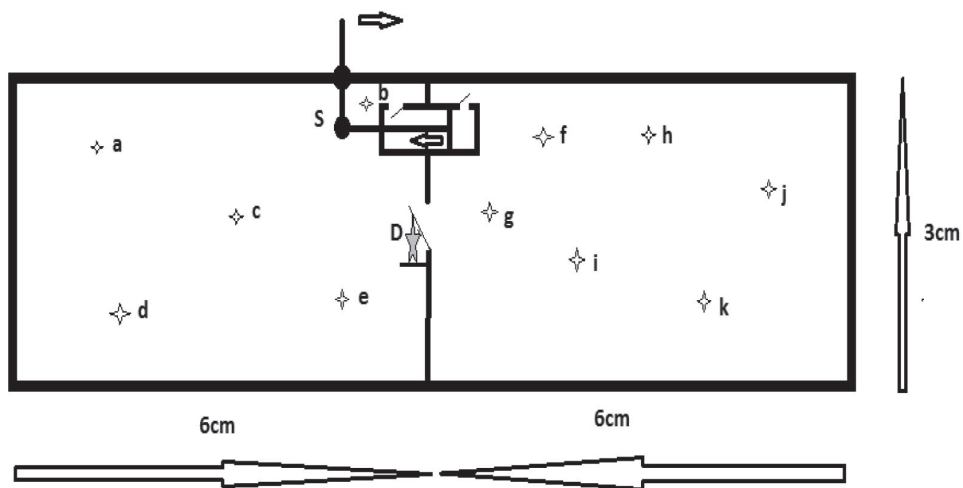
4.1. Primjena na Maxwellovu demonu

Entropija je imala ‘zvjezdane trenutke’ i u nekim drugim znanstvenim i tehničkim disciplinama: u fizici omogućava sve moguće rasprave i teorije, uključujući i mogućnost da Maxwellov demon ipak poništava drugi zakon termodinamike [17]. Dopušta se i vrlo razložna rasprava Landauerova principa²² da poništenje n bitova informacije traži trošenje $kT \ln(2n)$ džula energije. Landauer je to razložno postavio, jer razmatra smanjenje entropije kao funkciju smanjenja veličine faznog prostora, što je očigledna činjenica.

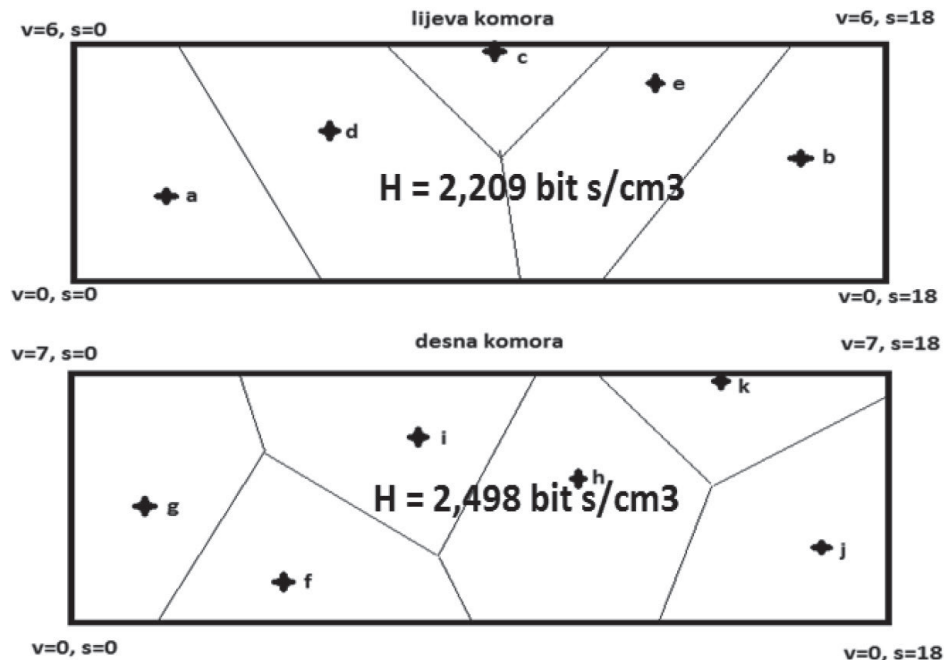
No, argument u radu [17], gdje jednomolekularni Maxwellov stroj posjeduje entropiju postulativno je neispravan, jer ako jedna komora Maxwellova stroja nema materijalne točke, onda je i njezina entropija jednaka ničiti ($\ln 0 = 0$), a jedna materijalna točka u drugoj komori ima isto tako entropiju jednaku ničiti ($\ln 1 = 0$). Dakle, zamišljen je stroj bez izračunjive entropije koji ne može biti argument za poništenje entropije.

Međutim, ako bi postojao stroj s kvantno spregnutom informacijom u svojoj okolini, on bi dopuštao klasičnu uporabu računala s padom a ne porastom entropije, dakle mogli biste koristiti računalo i istodobno hladiti njegovu

²² Landauerov princip postulira da je minimum energije potreban za poništenje jednog bita informacije jednak $E = kT \ln 2$ i da se isti iznos energije mora disipirati u okolinu stroja koji se resetira.



Sl. 16.: Maxwellov demon kao višečestični ustroj: demon D otvara vrata težeći povećanju neravnoteže energija između komora; stroj S izvodi iz toga traženi rad i tako potencijalno zaobilazi drugi zakon termodinamike



Sl. 17.: Trenutni fazni prostor Maxwellova demona sa slike 16. Pretpostavljeni su ekvidistantni položaji čestica da se ne bi ulazilo u višedimenzijski izračun entropije!

okolinu [18]. Ovo znači da bi resetiranjem niza bitova koji su kvantno spregnuti mogli na spregnutoj strani, u principu u okolini stroja, postići rast energije, dakle pad entropije [7].

Primjer pojednostavnjenog izračuna Maxwellova demona bez kvantne spregnutosti dan je na slici 16. [12]. Trenutni fazni prostor i Carnapove entropije Maxwellova demona dani su za obje komore na slici 17.

Ne samo što su pretpostavljali postojanje entropije jednog tijela ili entropije bez tijela, fizičari su razradili i pojam ‘negativne entropije’. Schrödinger je tako prvi uveo pojam ‘negentropija’ kao entropije uzete s negativnim predznakom $H < 0$ [19]. Ovo vrlo jasno demonstrira kako duboko može biti nerazumijevanje fizikalno-strojne prirode entropije. Ustvari, entropija je ‘poput energije’ nenegativna veličina s nenegativnim svojstvima prema trećem zakonu termodinamike [20-22] i prema Clausiusovoj definiciji [7-9], ali nije energija. Tu fizika očito još nije napravila neki spoznajni napredak.

4.2. Primjena u fizikalnoj kemiji

Fizikalna kemija našla je u entropiji ‘svoj alat iz snova’ [1]. To si možemo lako predočiti ako atome i molekule shvatimo kao male univerzalne strojeve – strukturirane za međusobnu ugradnju i nadopunjavanje i ujedno kao dinamička tijela s tri glavne energije: translacijskom, rotacijskom i vibracijskom. Takvi ‘mali strojevi’ mogu razmjenjivati energiju i pokretati stvaranje novih spojeva ili se razlaganjem opet pretvarati u učinkovite izvore energije. Naravno, ovdje je entropija zamišljena kao nešto što se odigrava između najmanje dva takva entiteta, atoma ili molekule. Razmotrimo slučaj izračuna prostorne entropije molekule etana, podaci iz tablica 6. i 7. [21].

Molekula etana posjeduje dvije konformacije: klimavu i zaklonjenu, slika 12. Podaci korespondentnih Carnapovih entropija računaju se iz položaja atoma vodika i ugljika danih u tablici 6. za klimavu i u tablici 7. za zaklonjenu konformaciju. Topološka trodimenzijska entropija klimavog etana jednaka je 2,8389 bit/angstrem³ odnosno 2,8389 10³⁰ bit/m³, a ona zaklonjene konformacije jednaka je 2,6990410³⁰ bit/m³. Međutim, izračun Carnapove entropije molekule etana s većim brojem varijabli od tri bio bi gotovo nepremostiva računalna prepreka.

4.3. Ostale primjene

Kozmologija nije puno profitirala od entropije. Ona se naoko bavi puno zamršenijim pitanjima: neodržavanje principa konstantnosti ukupne energije [23], princip superstruna na horizontu univerzuma, suprotnosti evidencija

pomaka spektra i teorije velikog praska i sl. [24]. Jednostavne konstelacije svemirskih tijela koje upućuju na minimum entropije u njihovoj strukturi očito im izmiču pozornosti. Evidentna težnja svemira i njegovih konstitutivnih elemenata galaksija da se prostiru dominantno u dvije dimenzije, dakle, da teže lokalnom minimumu entropije nisu se uklapale u promišljanja. Još manje je unaprijeđena biologija. Dapače! Jedan mehanicistički model starenja, zasnovan na termodinamičkoj entropiji odnosno potrošnji energije vježbom i duljini života, tipičan je takav promašaj. Pokazuje da je krajnje mirovanje, dakle potpuno izbjegavanje vježbanja povoljno za povećanje očekivane životne dobi [25], što je izvan svake pameti i znanstvenog poštenja.

Drugi primjer gdje se proučava ekspanzija molekule nakon prolaza kroz otvor u staničnoj membrani primjer je kinematskog opisa dinamičkog staničnog mehanizma [26].

Primjena u ekonomiji može se najjednostavnije zamisliti na poslovanju poduzeća. Ovdje možemo unijeti tri ključne varijable poslovanja: profit, povrat uložених sredstava i zaduženost. Primjer jedne uspješne tvrtke prikazuje se tad u 3D modelu gdje su varijable: profitabilnost ROE (3 % – 6 %), tekuća likvidnost (1 – 2) i zaduženost (20 % – 30 %). Varijable određuju sedam potprostora u tri dimenzije, a rezultat entropijske analize za promjene od 30 %, 60 % i 90 % od idealne ‘radne točke’ firme (točka C) prikazuje tablica 9. Prikadnost modela jest u kontinuiranosti praćenja poslovanja. Jedina bitna zamjerka ovakvoj analizi jest pretpostavka da su varijable profita, povrata sredstava i zaduženosti međusobno nezavisne.

Tablica 9.: Referentne točke izračuna 3D entropije poslovanja firme i iznosi entropija za rektangularni i konveksni prostor izračuna (A i E granične su točke profitabilnosti, B i D su granične točke tekuće likvidnosti, a F i G granične su točke zaduženosti)

Točke centara entropije	Najpovoljnija situacija	Promjena varijabli 30 %	Promjena varijabli 60 %	Promjena varijabli 90 %
A	4,5; 2; 25	4,95; 2; 26,5	5,4; 2; 28	5,85; 2; 29,5
B	3; 1,5; 25	3; 1,65; 26,5	3; 1,8; 28	3; 1,95; 29,5
C	4,5; 1,5; 25	4,95; 1,65; 26,5	5,4; 1,8; 28	5,85; 1,95; 29,5
D	6; 1,5; 25	6; 1,65; 26,5	6; 1,8; 28	6; 1,95; 29,5
E	4,5; 1; 25	4,95; 1; 26,5	5,4; 1; 28	5,85; 1; 29,5
F	4,5; 1,5; 30	4,95; 1,65; 30	5,4; 1,8; 30	5,85; 1,95; 30
G	4,5; 1,5; 20	4,95; 1,65; 20	5,4; 1,8; 20	5,85; 1,95; 20
Rektangularna entropija ²³	2,6536	2,5735	2,3738	1,9902
Konveksna entropija	1,9370	1,9004	1,8211	1,6613

²³ Obuhvaća fazni prostor između najudaljenijih točaka skupa po pojedinoj osi.

Zamisao entropije često se koristi i u mnogim drugim znanstvenim disciplinama i s njima povezanim tehnikama i alatima uglavnom samo zasnovano na termodinamici.

5. Praktična primjena entropije u pojedinim tehničkim područjima

Tehnička su područja arhitektura i urbanizam, brodogradnja, elektrotehnika, geodezija, građevinarstvo, grafička tehnologija, kemijsko inženjerstvo, metalurgija, računarstvo, rudarstvo, strojarstvo, tehnologija prometa i transporta, tekstilna tehnologija, zrakoplovstvo, temeljne i interdisciplinarne tehničke znanosti. Moguća primjena Carnapove entropije na neke grane iz navedenih područja kratko je navedena u tablici 10.

Rasprava i zaključak

Izloženi primjeri izračuna Carnapove entropije mogu poslužiti za određeno kritičko rezimiranje trenutnog stanja ovog područja tehnologije s ciljem sagledavanja njegove primjenjivosti u perspektivi tehničkih znanosti. Jedno je gotovo sigurno: entropija nije energetski fenomen, nego se samo povijesno prvo izučavala svrhovitost uporabe energije u toplinskim strojevima. Entropija nije energija, jer postoji tzv. rezidualna entropija nekog kristala ili ustroja pri termodinamičkoj ničtici temperature. Entropija nije ni mjeriva samo energijom iako se pri zanemarivanju i apstrahiranju tehnoloških detalja toplinskih strojeva može njihovo funkcioniranje vrlo jednostavno i praktično izraziti gubitcima toplinske energije. Ona je primarno 'situacijski alat tehnike' jer u područja mehanike, kemijske strukture i ustroja mehanizama poput satova, njihala, zglobnih sklopova, reduktora, rasporeda elektroničkih komponenti i ostalih detalja tehnike unosi egzaktnu informacijsku mjeru ciljnosti ispunjenja njihove zadaće. A to nije zanemariv alat.

Ono što je pokazano primjerima jest i ograničenje koje ova tehnologija posjeduje: ograničenost na najviše tri do četiri varijable, nepoznavanje konkretnog faznog prostora i njegovih svojstava konveksnosti. Oni se tek moraju izučiti. Tu bi od veće pomoći bile matematika i fizika! Isto tako je ograničenje i zapostavljenost ove tehnologije. Pomodna primjena na druga znanstvena područja poput ekonomije ili biologije nisu nego pokušaji koji mogu biti ispunjeni nekom nadom u rezultat samo ako su varijable pripadnih faznih prostora nezavisne, a svrhovitost primjene poznata.

Tablica 10. Moguća primjena Carnapove entropije na neke grane iz područja tehničkih znanosti

Grana tehnike	Mogući zadatak	Moguće rješenje	Dobit	Ograničenje
2.01.01 arhitektonsko projektiranje	projekt uporabe prostora – raspored namještaja	optimiranje rasporeda namještaja	određivanje granice elastičnosti rasporeda namještaja	ovisnost o korisniku prostora
2.01.05 pejzažna arhitektura	projekt uporabe prostora	optimalan raspored	mjera postizanja cilja	izvedivost s obzirom na okolišne uvjete
2.03.03 elektronika	projekt prostornog rasporeda elektroničkih komponenata ²⁴	približavanje idealnom rasporedu	mjera postizanja cilja	osjetljivost na okolišne uvjete
2.03.04 telekomunikacije i informatika	optimalni kodni opis izvora informacije	abecedna entropija ²⁵	mogućnost praćenja izvršenja ciljne funkcije izvora	potrebno je posjedovati mjerenja izvora i znati ciljnu funkciju
2.05.01 geotehnika	određivanje seizmičkog rizika zgrade	određivanje entropije pokusnog opažaja na seizmičkom modelu rizične situacije	kvantifikacija seizmičkog rizika	upitna sličnost modela i stvarne situacije
2.07.02 mehanički, toplinski i separacijski procesi	projektiranje zglobnog prijenosnog mehanizma	određivanje kinematičke entropije sklopa	kinematički optimalan sklop	nedefinirana ciljnost rada sklopa
2.09.04 umjetna inteligencija	povećanje prostora uzoraka analize procesa	dodavanje uzoraka iz entropijskog kodiranja procesa	veća vjerojatnost dobivanja ishoda dubinske analize	opravdanost proširenja skupa uzoraka
2.10.02 naftno rudarstvo	identifikacija ležišne poroznosti	kodiranje okolice ležišta entropijskim kodom	veća konzistentnost procjene efektivne poroznosti ležišta	nedovoljan broj mjernih bušotina
2.11.01 opće strojarstvo (konstrukcije)	projekt optimalne potrošnje energije uređaja	kinematika i dinamika podsklopova	mjera zadovoljavanja ciljne projektantske funkcije	velike dimenzije faznog prostora
2.12.01 cestovni i željeznički promet	projektiranje po riziku vožnje automobila	dizajn trenutnog sigurnog prostora	praćenje optimalne dinamike vožnje i rizika na cesti	nedovoljna opremljenost vozila
2.15.06 tehnička mehanika (mehanika krutih i deformabilnih tijela)	projektiranje deformacija tijela pod naprezanjem	entropijski opis razlika ciljne i postignute deformacije pod naprezanjem	dobivanje informacijske mjere odstupanja od željene deformacije	jednako vrednovanje svih odstupanja
2.16.02 mikro i nanotehnologije	izrada strukture s malim brojem čestica	entropijska mjera dobivene strukture	egzaktna mjera odstupanja strukture od tražene	neosjetljivost na simetriju rješenja

²⁴ Raspored elektroničkih komponenata mora zadovoljiti mehaničke, toplinske i EMC uvjete te uvjete održavanja.

²⁵ Vidjeti rad pod [16]

Entropija kao alat zaostala je za svojom idejom! Rezultat je to zamršene cjeline odnosa u istraživanju na koju su društveno-povijesni čimbenici djelovali tako da su nastupili: a) brzopleto proširenje pojma iz područja strojeva s unutarnjim izgaranjem na srodna a onda i na posve udaljena područja primjene, b) postojanje barem četiriju teorija koje su se odnosile na posve različite razine apstrakcije pojava i procesa, c) nemogućnosti obuhvata svih aspekata entropije, energije, strukture i svrhovitosti u jednoj teoriji, d) nepostojanju alata koji bi mogli elegantno nešto izračunati; odatle se neizbježno odlazilo u apstrakcije uz potiskivanje svrhovitosti.

Ovo je razvidno na putu razvoja entropije od strojeva s unutarnjim izgaranjem do današnjeg stupnja razvoja, koji je trajao više od 160 godina i praćen je postupnim sve većim apstrahiranjem modela, tako da je već na prvom stupnju apstrakcije autor ideje Rudolf Clausius zanemario svrhovitost stroja koji je studirao. Autor Gibbs zanemario je strukturu stroja, da bi Boltzmann zanemario razdiobu energija. Konačno je sa Shannonom nestala i materijalna podloga funkcioniranja procesa. Ostao je samo prostor vjerojatnosti kodova znakova nad kojim se prostire Shannonova entropija, koju je i sam s dozom skepse Shannon proglasio teorijom informacije.

Pojava Carnapove entropije 1956. godine usmjerila je razmatranje ponovno na svrhovitost jer je omogućavala izračun postizanja ciljnosti za pojedine etape ponašanja stroja, odnosno njegovih dijelova. No ograničenja koja nastupaju pri izračunima s većim brojem varijabli zahtijevaju da se ovim pristupom entropiji određuje svrhovitost samo pojedinih entiteta neke cjeline ili pojedinih elemenata u nekom trenutku rada sustava čiju entropiju izučavamo. Obuhvaćanje razmatranja entiteta s više od četiri varijable postavlja, međutim, pitanje izračunljivosti s dva naslova: pitanje konveksnosti prostora izračuna i pitanje računalne snage i vremena izračuna entropijske situacije.

Jednodimenzijska inačica Carnapove entropije zvana abecedna entropija izložena je ovdje samo pokazno za izučavanje opisa strukture etana. Abecedna entropija u jednodimenzijskom kodiranju mjernih podataka složenijih tehničkih struktura i procesa može dati vrlo upotrebljive rezultate osobito s naslova svoje determinističnosti i osjetljivosti na složene pojave u automatiziranim procesno-proizvodnim sklopovima, uređajima i sustavima.

Razvidno se za svaki tehnološko-projektantski zadatak, koji bi nužno trebao biti informacijski jasan, treba birati prikladan 'entropijski alat' sam ili u kombinaciji s drugim projektantskim alatom, npr. toplinski izračun s abecednom entropijom.

Ako je ovaj rad tome ponešto pridonio, već je ispunio svoju svrhu. Izučavanje i praksa 'elastičnije primjene entropije' odnosno informacije posebno će biti naglašena u razvoju opreme i uređaja u nanomjerilu, gdje se, međutim, pojavljuju pitanja valno-mehaničke prirode, koja su samo rubno obrađena u ovom radu. Ovo je, naravno, novi izazov za tehnologe, projektante i informatičare.

Literatura

- [1] Shufeng Zhang: Entropy: a concept that is not a physical quantity, *Physics Essays*, June 2012, DOI: 10.4006/0836-1398-25.2.172, <https://www.researchgate.net/publication/230554936>.
- [2] Clayton J., Giauque, W.: The heat capacity and entropy of carbon monoxide, *J. Am. Chem. Soc.* 1932, 54, 2610-2626.
- [3] Lucia, U. (2008): Statistical approach of their reversible entropy variation, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 387 (14): 3454–3460.
- [4] Marko Popovic: Researchers in entropy wonderland: A review of the entropy concept. <https://arxiv.org/abs/1711.07326>.
- [5] Johari, G.: Configurational and residual entropies of nonergodic crystals and the entropy's behavior on glassformation, *The Journal of Chemical Physics*, DOI:10.1063/1.3364999
- [6] A. Pudmetzky: Teleonomic entropy measuring the phase-space of end-directed system, *Appl. Math. Comput.*, 162 (2) (2005) 695-705.
- [7] Clausius, R. (1865), Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formender Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie, *Annalen der Physik*, 125: 353-400.
- [8] Clausius, R. (1867). *The mechanical theory of heat – with its applications to the steam engine and to physical properties of bodies*. London: John van Voorst. Retrieved 19 June 2012.
- [9] Clausius, R. (1870). On a Mechanical Theorem Applicable to Heat, *Philosophical Magazine*, Ser. 4 40:122–27
- [10] Carnot S.: *Reflections on the motive power of fire*, Chapman & Hall Ltd, London, 1897.
- [11] Gibbs J.V., (1878), On the equilibrium of heterogeneous substances, *Am J Sci*, Series 3, Vol. 16:441-458.
- [12] Jović. F.: Entropija, proces i informacija, CIGRÉ 2019.
- [13] Sears, W. and Salinger, L. (1986), *Thermodynamics, kinetic theory, and statistical thermodynamics*, 3rd edition, Addison-Wesley.
- [14] A. Münster: *Classical Thermodynamics*, Wiley-Interscience, cop., London, 1970.
- [15] Shannon, C.: A mathematical theory of communication, *The Bell System Technical Journal*, 1948, 27, 379-423.
- [16] Jović, Franjo; Jović, Alan; Krmpotić, Darko. *Quality control engineering in automated ceramic tile production using a signal information content approach*, *Advanced engineering informatics*, 27(2013), 1; 93-107.
- [17] Norton, J. D.: Eaters of the lotus: Landauers principle and the return of Maxwell's demon. <https://www.pitt.edu/~jdnorton/papers/Eaters.pdf>, 12/2019.
- [18] Vedral, V.: Does quantum mechanics flout the laws of thermodynamics, *Scientific American*, Blog, June 1, 2011, <https://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/does-quantum-mechanics-flout-the-laws-of-thermodynamics/>
- [19] Schrödinger, E.: *What is life? The physical aspect of the living cell*, Cambridge University Press, X printing, 2003.

- [20] Balmer, R. T.: *Modern engineering thermodynamics*, Academic Press, 2011.
- [21] McQuarrie, D. A.: *Statistical Mechanics*; University Science Books: Sausalito, CA, 2000.
- [22] Dugdale, J. S. :*Entropy and its Physical Meaning*; Taylor & Francis Ltd, London, UK, 1996.
- [23] Baryshev, Yu. V. (2008). Expanding space: The root of conceptual problems of the cosmological physics, arXiv:0810.0153v1 [gr-qc].
- [24] Eastman, T. E. (2010). *Cosmic Agnosticism*, revisited, *Journal of Cosmology*, 2010, 4, 655-663.
- [25] Silva Carlos, Kalyan Annamalai. Entropy generation and human ageing: Lifespan entropy and effect of physical activity level, *Entropy*, 10, 100-123 (2008)
- [26] Rui Sousa and Eileen M. Lafer: The physics of entropic pulling: A novel model for the Hsp70 motor mechanism, *Int. J. Mol. Sci.* 2019, 20, 2334; doi:10.3390/ijms20092334

Information on purposeful mechanisms

Franjo Jović, Želimir Kozlina, Alan Jović

Abstract: Entropy is known as historical engineering tool for studying purposeful mechanisms mostly combustion machines (father and son Carnot, 1803), pragmatistical structures that use energy and designer's inventivity for their work. Structural purposefulness has been 'omitted' from entropy at the very beginning of its definition (Clausius, 1850). following by the omission of machine structure (Gibbs, 1860.), energy distribution (Boltzmann, 1870), and ending with the omission of material basis of the process functioning (Shannon, 1948). The remaining probability space that spans Shannon entropy has been declared by Shannon as information theory with a dosys of author's scepticism. Modern world entered with this definition into the fourth industrial revolution.

Carnap (1956) has revised the investigation of purposefulness of structure and information in space and time span. However the accessibility to material and energy substance of structure and circuitry sank into ingenuity of praxis where entropy is used only for project and design segments because of its computing difficulties.

An one-dimensional space entropy is presented as single-valued alphabet entropy usable in purposeful synthesys of industrial plants. Historical overview of entropy and simple examples of Carnap based entropy and correspondent application limits are presented in the work. However, in the min-

imum entropy principle, Carnap approach to space and time has exposed a groundedness that transcends the limits of machine and code investigation. This approach opens another view to classical physics while reconsidering the entropy of basic laws of body movements and space structure.

Keywords: entropy space, entropy units, entropy calculation

