

# Zakon entropije i ekološka kriza

---

Čolig, Matej

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:131:870696>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-23**



Sveučilište u Zagrebu  
Filozofski fakultet  
University of Zagreb  
Faculty of Humanities  
and Social Sciences

Repository / Repozitorij:

[ODRAZ - open repository of the University of Zagreb  
Faculty of Humanities and Social Sciences](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FILOZOFSKI FAKULTET  
ODSJEK ZA FILOZOFIJU

Matej Čolig

**ZAKON ENTROPIJE I EKOLOŠKA KRIZA**

Diplomski rad

Mentor: prof. dr. sc. Hrvoje Jurić

Zagreb, veljača 2023.

## Sadržaj

Uvod .....	1
1. Izvorni kontekst: entropija u fizici .....	3
1.1. Klasična termodinamika i njena četiri zakona .....	3
1.2. Drugi zakon termodinamike .....	4
1.3. Entropija .....	4
1.3.1. Porijeklo imena .....	4
1.3.2. Nastanak i razvoj pojma entropije .....	5
1.4. Završni pregled .....	9
2. Entropija izvan fizike .....	11
2.1. Claude Shannon i informacijska teorija .....	11
2.2. Erwin Schrödinger i biologija .....	12
2.3. Jeremy Rifkin i populariziranje entropije .....	14
2.4. Nicholas Georgescu-Roegen i ekološka ekonomija .....	16
2.5. Marksizam i entropija .....	20
2.5.1. Nasljeđe Georgescu-Roegenova .....	20
2.5.2. Zaokret .....	22
3. Ekološka kriza i kapitalizam .....	25
3.1. 'Prokleti dio' .....	25
3.2. Trošenje ekološke baze: evolucijska i historijska perspektiva .....	26
3.3. Georgescu-Roegen i Marx .....	34
Zaključak. Prema dijalektici prirode .....	37
Popis literature .....	39

## Zakon entropije i ekološka kriza

### Sažetak

Namjera ovog diplomskog rada jest istražiti vezu između fizikalnog zakona entropije i uzrokā aktualne ekološke krize. Istraživanje će se sastojati od tri dijela. Prvi dio služi postavljanju okvira preko prikaza nastanka, razvoja i određenja pojma entropije u fizici, prije svega u termodinamici. U drugome se dijelu prikazuju proširenja korištenja pojma entropije na područja izvan izvornog konteksta prilikom čega su se nerijetko događale deformacije i pojednostavljenja. U tom dijelu ističe se proširenje primjene zakona entropije na objašnjenje uzrokā ekološke krize, posebno u radu ekonomista Nicholasa Georgescu-Roegenā – ponajprije njegovoj knjizi *Zakon entropije i ekonomski proces* – te u radu marksističkih ekologa inspiriranih njime. U posljednjem dijelu, nakon ispitivanja adekvatnosti pojma entropije za pristup ekološkoj krizi i izdvajanja vrijednih elemenata iz prethodno analiziranih korištenja, istražuje se utjecaj kapitalizma na nastanak ekološke krize. Završno se na recentnu rehabilitaciju dijalektike prirode ukazuje kao na pozitivan odgovor na izazove koje ekološka kriza donosi.

**Ključne riječi:** entropija, ekološka kriza, Nicholas Georgescu-Roegen, marksizam, kapitalizam, dijalektika prirode

## The Entropy Law and the Ecological Crisis

### Abstract

This thesis aims to explore the connection between the physical law of entropy and the causes of the current ecological crisis. The research will consist of three parts. In the first part, the aim is to set the framework through the description of the origin, development, and definition of the entropy law in physics, primarily in thermodynamics. The second part presents extensions of the entropy notion to fields outside the original context, during which many deformations and simplifications occurred. In this part, the focus is on the application of the entropy law in explaining the causes of the ecological crisis, particularly in the work of the economist Nicholas Georgescu-Roegen – primarily his book *The Entropy Law and the Economic Process* – and in the works of Marxist ecologists inspired by him. In the last part, after examining the adequacy of the notion of entropy for the approach to the ecological crisis and, secondly, separating valuable elements from previously analyzed uses, I will explore the impact of capitalism on the emergence of the ecological crisis. In the end, the recent rehabilitation of dialectics of nature is taken as a positive answer to the challenges the crisis brings.

**Key words:** entropy, ecological crisis, Nicholas Georgescu-Roegen, Marxism, capitalism, dialectics of nature

*[N]emojmo da sebi odviše laskamo našim ljudskim pobjedama nad prirodom. Za svaku takvu pobjedu ona nam se osvećuje. Istina, svaka od njih ima u prvom redu one posljedice na koje smo mi računali, ali u drugom i trećem redu ona ima posve druge, nepredviđene posljedice, koje veoma često poništavaju one prve. (F. Engels, 'Uloga rada pri pretvaranju majmuna u čovjeka')*

## **Uvod**

U svakodnevnom govoru, riječ 'entropija' obično se koristi u smislu povećanja nereda i kaosa. Uzeta u tako neodređenom značenju, vrlo je lako primjenjiva na bilo što. Međutim, ulaženjem u izvorni kontekst u kojem je pojam entropije nastao, vidljivo je da on ima veoma specifično polje primjene i zbog toga veoma određeno značenje.

Povod da se ovim radom dublje analizira značenje i povijest toga pojma došao je iz nejasne impresije da svakodnevno shvaćanje entropije odgovara onome što se s prirodom – i čovjekom u njoj – događa u kontekstu ekološke krize; preciznije, da priroda u kojoj čovjek živi zbog njegovog djelovanja doista kao po nekoj zakonitoj nužnosti sve više prelazi u nenastanjivi kaos.

Struktura ovog rada slijedi tijek razračunavanja s tom impresijom. Najprije se sažeto i u općim crtama nastoji što preciznije prikazati što je entropija značila u kontekstu u kojem je nastala – u klasičnoj termodinamici. Potom se, uz legitimna proširenja na druga fizikalna područja, prikazuju elementi izvornog konteksta koji su nagnali kasnije istraživače iz nefizikalnih disciplina da pojam entropije preuzmu i da ga, gotovo redovito, preuzimanjem toliko modificiraju da on gubi direktnu vezu s izvornim značenjem. Jedno od takvih preuzimanja dogodilo se u ekonomiji i istraživanju ovisnosti ekonomskih procesa o prirodnim resursima. Radi se istraživanjima Nicholasa Georgescu-Roegenaa, koji je potom inspirirao marksističke teoretičare da pojam entropije koriste kao glavno načelo za objašnjenje procesa koji su doveli do ekološke krize. Nakon raščišćavanja terena i odvajanja onoga što doista pripada fizici od onoga što je tek zgodna analogija, iz brojnih posuđivanja pojma entropije izvukao sam ono što zaista može biti korisno u istraživanju uzrokā ekološke krize. Kao neprijeporno glavni uzrok pokazuje se kapitalistički sustav koji, slijedeći svoju logiku privatnog povećanja profita, ostavlja u neredu ekološku bazu, a u deprivaciji veliku većinu

ljudi koji kapitalizam svojim radom omogućuju i koji nered ekološke krize trpe mnogo direktnije. Na kraju, kao rješenje koje bi spojilo i borbu za ekonomsku i borbu za ekološku pravdu nudi se osporavana dijalektika prirode kao druga strana kovanice na čijoj se prvoj strani nalazi dijalektika historijskog materijalizma.

## 1. Izvorni kontekst: entropija u fizici

U ovome dijelu namjera je, iako u veoma sažetom obliku, dati što precizniji prikaz prvotnog značenja entropije. Sljedeća poglavlja počivaju na ovome ili kroz odgovarajuće preuzimanje i razvijanje izvornog značenja ili pak kroz njegovo veće ili manje modificiranje.

### 1.1. Klasična termodinamika i njena četiri zakona

Zakon entropije vezuje se u fizici izvorno uz klasičnu termodinamiku, konkretnije, uz njezin drugi zakon. Općenito promatrano, klasična je termodinamika 'proučavanje fenomena uključenih u proizvodnju rada; ili, apstraktnije, proučavanje međudjelovanja toplinske i mehaničke energije prilikom njihovih preobrazbi'.<sup>1</sup> Iz povijesne, pak, perspektive gledano, klasična se termodinamika najviše razvijala u 18. i 19. stoljeću kada je rastao interes za povećanjem efikasnosti parnoga stroja.

Sama fizikalna disciplina počiva na četirima zakonima. 1) *Nulti zakon* omogućuje prevođenje empirijskih termodinamičkih odnosa u matematičke izraze. Njegova je formulacija sljedeća: ako je svaki od dva termodinamička sustava u toplinskoj ravnoteži s trećim sustavom, onda su oni svi u toplinskoj ravnoteži.<sup>2</sup> Ravnoteža između njih zapravo znači da su oni kvalitativno jednaki, što se onda može prenijeti na svim sustavima zajedničku kvantitativnu razinu izrazivu temperaturnom ljestvicom. 2) *Prvi je zakon* zakon očuvanja energije. Prema njemu, ukupna je energija izoliranog sustava<sup>3</sup> konstantna, a sve promjene koje se događaju tiču se samo promjene oblika energije, ne i njenog stvaranja ili uništavanja. 3) *Drugi zakon* govori o vezi između topline i rada. S obzirom da će u nastavku teksta drugi zakon zbog svoje veze s entropijom biti opširnije obrađen, zasad ću samo kazati da se drugim zakonom specificira uspješnost prevođenja toplinske energije u rad te da je s njime povezan pojam ireverzibilnosti, koji je važan za kasnije potrebe teksta. 4) *Treći zakon*, naposljetku, odnosi se na one procese u termodinamičkim sustavima u kojima se temperatura približava apsolutnoj nuli ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) i čija je entropija također blizu nule.<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Jos Uffink, 'Bluff Your Way in the Second Law of Thermodynamics', *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 32 (3), str. 305-95, ovdje str. 309.

<sup>2</sup> H. A. Buchdahl, *The Concept of Classical Thermodynamics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1966., str. 29.

<sup>3</sup> O izoliranom sustavu više u nastavku teksta.

<sup>4</sup> J. Wilks, 'Introduction', u: isti, *The Third Law of Thermodynamics*, Oxford University Press, London, 1961., str. 1.

## 1.2. Drugi zakon termodinamike

Prvu, rudimentarnu formulaciju drugog zakona iznio je 1824. godine francuski znanstvenik Sadi Carnot. Razmatrajući odnos između toplinske energije i kretanja strojeva, on je zaključio, prvo, da ‘pokretačka snaga može biti stvorena gdje god postoji razlika u temperaturi’<sup>5</sup> te, drugo, da efikasnost pretvaranja toplinske energije u rad nije potpuna.<sup>6</sup> Otprilike tri desetljeća kasnije, njemački je znanstvenik Rudolf Clausius ponudio novu, strožu formulaciju drugoga zakona temeljeći je na aksiomu prema kojemu toplinska energija ne može nikada sama od sebe prijeći s hladnijeg na toplije tijelo.<sup>7</sup> Aksiom, dakle, implicira da toplinska energija uvijek prelazi s toplijeg na hladnije tijelo te da je za suprotan smjer, kao primjerice u slučaju hladnjaka, potreban rad.<sup>8</sup> Osim Clausiusa, formulacije drugoga zakona i doprinose njegovom formuliranju dali su, između ostalih, William Thomson (tj. Lord Kelvin), Max Planck i Constantin Carathéodory.<sup>9</sup> Iako su te formulacije različite<sup>10</sup>, zajedničko im je vezivanje toplinske energije i rada te razmatranje usmjerenosti prirodnih procesa.

## 1.3. Entropija

### 1.3.1. Porijeklo imena

Drugi zakon termodinamike označava se kao ‘načelo povećanja entropije’.<sup>11</sup> Sam termin ‘entropija’ skovao je 1865. godine Rudolf Clausius kako bi, okvirno rečeno, njime označio pojavu u procesu sagorijevanja gdje se određena količina stvorene iskoristive energije gubi i ne pretvara u rad.<sup>12</sup> ‘Entropija’ je kao termin sinonim ranijeg izraza ‘transformacijski sadržaj’

---

<sup>5</sup> Sadi Carnot, *Reflections on the Motive Power of Heat*, John Wiley & Sons, New York, 1897., str. 51.

<sup>6</sup> Robert L. Jaffe & Washington Taylor, *The Physics of Energy*, Cambridge University Press, Cambridge, 2018., str. 150.

Usput rečeno, Sadi Carnot rad definira kao ‘podizanje neke težine na određenu visinu’ (S. Carnot, *Reflections on the Motive Power of Heat*, str. 42f).

<sup>7</sup> Rudolf Clausius, ‘On a Modified Form of the Second Fundamental Theorem in the Mechanical Theory of Heat’, *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 4. 12 (77), 1856., str. 81-98, ovdje str. 86.

<sup>8</sup> U hladnjaku energija prelazi iz opreme za hlađenje na topla tijela, ali samo hlađenje omogućeno je radom (i zagrijavanjem) rashladnog sustava.

<sup>9</sup> Fizičari koje također treba istaknuti a koji su radili kako na prvom tako i na drugom zakonu termodinamike jesu William Rankine i Hermann von Helmholtz.

<sup>10</sup> J. Uffink, ‘Bluff Your Way in the Second Law of Thermodynamics’, str. 77. Za detaljniji stručni prikaz ne samo drugoga zakona nego i cijele termodinamike, v. Ingo Müller, *A History of Thermodynamics. The Doctrine of Energy and Entropy*, Springer, Heidelberg, 2007.

<sup>11</sup> Elliott H. Lieb & Jakob Yngvason, ‘The physics and mathematics of the second law of thermodynamics’, *Physics Report*, Vol. 310 (1), ožujak 1999., str. 1-96., ovdje str. 3.

<sup>12</sup> Rudolf Clausius, ‘Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie’ [‘O različitim i za primjenu prikladnim formama glavnih jednadžbi mehaničke



(*Verwandlungsinhalt*)<sup>13</sup>, a sastavljena je od grčkih riječi ‘en’ (‘u’) i ‘tropé’ (‘promjena’). Tri su razloga zbog kojih je Clausius od tih grčkih riječi skovao novi termin: prvi je razlog taj što je grčki jezik pristupačniji u razumljivosti jer se kao korijen nalazi u mnogim europskim jezicima, drugi je važnost pojave na koju se termin referira, a treći je namjeran odabir riječi koja bi bila bliska terminu ‘energija’<sup>14</sup> budući da je entropiju i energiju Clausius smatrao analognima po fizikalnom značaju.<sup>15</sup>

### 1.3.2. Nastanak i razvoj pojma entropije

Precizno definiranje entropije u termodinamici nije jednostavno i moguće mu je pristupiti iz više smjerova.<sup>16</sup> Određenju, ili barem njegovom pokušaju, pristupit ću tako što ću uz historijsko predstavljanje, u čije ću središte postaviti Rudolfa Clausiusa kao tvorca termina, provesti analizu dviju pojmovnih skupina – jednu kojoj pripadaju pojmovi izoliranog, zatvorenog i otvorenog sustava te drugu kojoj pripada suprotnost između reverzibilnosti i ireverzibilnosti procesa.

Pojam entropije svoje začetke ima u razmatranju mogućnosti neprekidnog kretanja (*perpetuum mobile*). Lazare Carnot, otac Sadija Carnota, 1803. u djelu *Osnovna načela ravnoteže i kretanja* zaključuje da *perpetuum mobile* kao stroj nije moguć zato što je rad stroja, a time i njegova potpuna iskoristivost, ometen trenjem, otporom zraka i drugim ‘pasivnim silama’.<sup>17</sup> Upravo se u gubitku aktivnosti, tj. u djelovanju pasivnih sila koje sprječavaju potpunu iskoristivost rada stroja i njegovo neprekidno kretanje nalazi ono na što će se kasnije referirati pojam entropije.

---

teorije topline’], *Annalen der Physik und der Chemie*, vol. 125, 1865., str. 353-400. Na engleski jezik preveden izvadak iz toga djela nalazi se u: William Francis Magie, *A Source Book in Physics*, Harvard University Press, Cambridge (MA), 1963., str. 228-236.

<sup>13</sup> W. F. Magie, *A Source Book in Physics*, str. 234.

<sup>14</sup> Usput rečeno, ‘energija’ je kovanica sastavljena od grčkih riječi ‘en’ (‘u’) i ‘érgon’ (‘djelo’).

<sup>15</sup> W. F. Magie, *A Source Book in Physics*, str. 234. O upitnosti držanja energije i entropije bliskima v. I. Müller, *A History of Thermodynamics. The Doctrine of Energy and Entropy*, str. 66.

<sup>16</sup> U različitim uvodima i pregledima koji se tiču entropije, gotovo se redovito naglašava kompleksnost tog pojma. V. npr. Owen Maroney, ‘Information Processing and Thermodynamic Entropy’, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/information-entropy/#StaMecSecLaw> (pristup: 25.9.2022.) ili Robert T. Hanlon, *Block by Block. The Historical and Theoretical Foundations of Thermodynamics*, Oxford University Press, Oxford, 2020., str. 279.

<sup>17</sup> Agamenon R. E. Oliveira, *A History of the Work Concept. From Physics to Economics*, Springer, Dordrecht, 2014., str. 178.

Sadi Carnot je nastavio rad svog oca zamišljajući idealan stroj, tzv. Carnotov krug, koji bi se temeljio na reverzibilnosti procesa kojim iz međudjelovanja toplijih i hladnijih dijelova sustava nastaje rad.<sup>18</sup> Taj je idealan stroj Sadi Carnot koncipirao s očekivanjem da u njemu neće biti gubitka toplinske energije i da će ona biti posve iskoristiva, no zaključio je da se već na hipotetskoj i idealnoj razini dio toplinske energije pri pretvaranju u rad gubi; s realnim strojem gubitak bi bio još veći zbog različitih otpora koji se javljaju pri izradi i funkcioniranju stroja. Razlika između potpune, idealne iskoristivosti i stvarne iskoristivosti fenomen je na kojem će Rudolf Clausius temeljiti svoj pojam entropije.

Pomak koji je Clausius napravio u odnosu na Carnota nalazi se u spajanju Carnotove teorije s Mayer-Jouleovom mehaničkom teorijom topline.<sup>19</sup> Dok je Carnotova teorija zbog načela reverzibilnosti konzervacijska i još ne tretira toplinu kao energiju, Mayer-Jouleova toplini pristupa kao formi energije i drugačije se odnosi prema vezi između mehaničke i toplinske energije. U fizici, reverzibilnost procesa pretpostavlja da dijelovi sustava ostaju uređeni i u ravnoteži; u ireverzibilnim procesima, nasuprot tome, red i ravnoteža se narušavaju. U Carnotovoj teoriji, sustav je zamišljen kao potpun krug koji od stanja A dolazi do stanja B i vraća se natrag. Drugačije rečeno, 'rad stvoren u prelasku iz stanja A u stanje B ponovno može biti iskorišten za vraćanje sustava u stanje A. Prisutna je potpuna ravnoteža i ništa se nije promijenilo niti u sustavu niti u njegovu okruženju.'<sup>20</sup> Za razliku od toga, kod ireverzibilnih se procesa događaju promjene kako u sustavu tako i u njegovu okruženju.

Pored toga što je rad stroja pomoću reverzibilnosti nastojao učiniti maksimalno iskoristivim, Carnot je svoju teoriju gradio na kaloričkom poimanju topline. Kalorička je teorija bila dominantna tijekom 18. i u prvoj polovici 19. stoljeća, a počivala je na uvjerenju da je toplina sastavljena od kalorika, neuništive tekućine izuzetno male mase koja prelazi s toplijih na hladnija tijela. Tu je teoriju zamijenila mehanička teorija topline.<sup>21</sup> J. R. von Mayer i J. P. Joule pokazali su 1840-ih ekvivalentnost topline i rada zamijenivši kaloričku teoriju kinetičkom. Naime, dokazali su da određena količina mehaničkog rada trenjem konzistentno podiže temperaturu vodi.

---

<sup>18</sup> V. S. Carnot, *Reflections on the Motive Power of Heat*.

<sup>19</sup> Ronald Newburgh, 'Carnot to Clausius: caloric to entropy', *European Journal of Physics*, 30 (2009), str. 713-28., ovdje str. 713.

<sup>20</sup> Isto, str. 724.

<sup>21</sup> V. Eric Mendoza, 'A sketch for a history of early thermodynamics', *Physics Today*, 14, 2 (1961), str. 32-42.

Za Clausiusa, entropija je svojstvo stanja.<sup>22</sup> Radeći na Carnotovom reverzibilnom i zatvorenom krugu, Clausius je došao do uvjerenja da entropija ‘hvata sposobnost topline da bude pretvorena u druge oblike energije poput rada.’<sup>23</sup> U vezi s time, promjenu u entropiji nekog tijela odredio je na sljedeći način: ‘ako neko tijelo upija toplinu zbog termičkog kontakta s drugim tijelom, onda je promjena entropije prvog tijela jednaka primljenoj toplini podijeljenoj s njegovom početnom temperaturom’<sup>24</sup> ( $\delta S = \delta Q/T$ ). Ova odredba, izuzetno je važno naglasiti, vrijedi za reverzibilne i zatvorene procese; za ireverzibilne, koji su praćeni drugim, složenijim promjenama, potrebno je u izračune uključiti dodatne faktore koji reflektiraju promjene entropije.

Prije nastavka govora o razvoju pojma entropije kod Clausiusa, valja u digresiji rastumačiti neke spomenute distinkcije koje obilježavaju termodinamičke sustave. Prva je distinkcija ona između reverzibilnog i ireverzibilnog sustava. Kao što je već dobrim dijelom rečeno, reverzibilan je sustav onaj koji se nakon odvijanja procesa od točke A do točke B vraća na početnu točku A. Carnotov je krug služio kao paradigma reverzibilnog sustava. Ireverzibilan se sustav ponaša suprotno, ne vraća se na početnu točku i obično uključuje složenije promjene. Uz ovo valja napomenuti da je ključan doprinos u analizi ireverzibilnog rasipanja energije u termodinamičkim sustavima dao William Thomson (kasnije poznatiji kao Lord Kelvin).<sup>25</sup>

Druga je distinkcija ona između izoliranog, zatvorenog i otvorenog sustava. Izolirani sustav je onaj u kojem između njega i njegove okoline nema razmjene ni energije ni materije; zatvoreni sustav onaj u kojem između sustava i okoline postoji razmjena energije, ali ne i materije; a otvoreni sustav je, pak, onaj koji sa svojom okolinom razmjenjuje i energiju i materiju.<sup>26</sup> Opet, Carnotov krug, osim što je reverzibilan, također je zatvoren sustav, što znači da se na njegovoj granici s okolinom događaju razmjena i pretvorba energije. O otvorenom sustavu, o kojemu je dosad bilo najmanje riječi, više će govora biti u nastavku.

Da se sada vratimo na Clausiusa. Iako je on svoj dolazak do određenja entropije započeo i bazirao na analizi Carnotova kruga, koji je prije svega termodinamički stroj, svoje

---

<sup>22</sup> R. T. Hanlon, *Block by Block*, str. 450.

<sup>23</sup> Isto, str. 451.

<sup>24</sup> Isto, str. 453.

<sup>25</sup> Cara New Daggett, *The Birth of Energy. Fossil Fuels, Thermodynamics, and the Politics of Work*, Duke University Press, Durham i London, 2019., str. 44-5.

<sup>26</sup> David Schwartzman, ‘The Limits to Entropy: Continuing Misuse of Thermodynamics in Environmental and Marxist Theory’, *Science & Society*, Vol. 72, No. 1, siječanj 2008., str. 43-62., ovdje str. 46.

zaključke nije zadržao samo na toj razini. Tekst iz 1865. godine u kojemu je uveo termin ‘entropija’ Clausius završava dvama fundamentalnim zakonima svemira:

‘1. Energija svemira je konstantna.

2. Entropija svemira teži prema maksimumu.’<sup>27</sup>

Dok prvi zakon ponavlja tada poznati zakon očuvanja energije, drugi zakon predstavlja Clausiusov više intuitivan nego na znanstvenim procedurama utemeljen teorijski skok. Taj je skok učinjen s dvaju polazišta. Prvo je polazište prethodno bavljenje Clausiusovih kolega suvremenika problemom proširenja primjene načela termodinamike na razinu svemira, u čemu je Clausius našao osnovu za svoje izdizanje iznad razine (Carnotova) stroja. Drugo se polazište nalazi u prenošenju Carnotova idealnog stroja u realni svijet. Dok je Carnotov krug obilježen ‘savršenom ravnotežom, infinitezimalnim radom, infinitezimalnom sporošću i jednostavnom reverzibilnošću’<sup>28</sup>, u realnome svijetu faktori poput ulaganja, iskoristivosti, prepreka i gubitaka u radu strojeva igraju mnogo veću ulogu. Umjesto savršene ravnoteže i očuvanja topline, mnogo je više neiskorištenog rasipanja toplinske energije. Clausius je svojim skokom prema entropiji svemira otvorio vrata prema matematičkoj analizi termodinamički ireverzibilnog realnog svijeta.

Da razmotrimo sada s više detalja taj drastičan korak: Clausiusov zakon o povećanju entropije u svemiru znači da kod spontanog tijeka topline između tijela različitih temperatura zbroj transformacijskih vrijednosti, tj. entropijā, nikada ne pada, nego ostaje isti ili raste.<sup>29</sup> Budući da, prvo, toplina između tijela teče s tendencijom da razlike u temperaturama tijelā nestanu i, drugo, budući da je Clausius svemir promatrao kao jedno tijelo koje od toplinske nehomogenosti teži prema homogenosti, rast entropije svemira znači praćenje ukupnog transformacijskog sadržaja, prema kojemu je ‘entropija uravnoteženog kombiniranog sustava veća od zbroja entropija (...) početnih tijela.’<sup>30</sup> Homogenosti odgovara toplinska ravnoteža, a u njoj je entropija najveća.<sup>31</sup> Entropija je, naime, mjera toga koliko je daleko proces toplinskog ujednačavanja odmakao (prisjetimo se ranije navedenog Clausiusovog određenja promjene entropije kao omjera između primljene topline i početne temperature). U sustavu iz kojeg

---

<sup>27</sup> Cit. prema R. T. Hanlon, *Block by Block*, str. 458.

<sup>28</sup> Isto, str. 460f40.

<sup>29</sup> Isto, str. 472.

<sup>30</sup> Isto, str. 473.

<sup>31</sup> Posvemašnja toplinska ujednačenost u svemiru ne ostavlja više toplinske energije koja bi mogla biti iskorištena za rad. Tzv. toplinska smrt svemira odnosi se upravo na to. Za suvremenu diskusiju o održivosti kontroverzne teze o smrti svemira, v. John Bellamy Foster i Paul Burkett, ‘Classical Marxism and the Second Law of Thermodynamics’, *Organization & Environment*, Vol. 21, No. 1, 2008., str. 22-23.

toplina izlazi i preko njegovih se granica rasipa na druge sustave,<sup>32</sup> događa se toplinsko ujednačavanje, a entropija raste.

Sam Clausius nije raščistio sve elemente u uvidima do kojih je došao. Vjerojatno je najproblematičniji aspekt njegove teorije upravo teza da procesi u prirodi teku u pozitivnom smjeru, odnosno u smjeru povećanja toplinske ravnoteže i entropije: ‘pitanje o tome kako entropija neuravnoteženog [tj. ireverzibilnog i neizoliranog, MČ] stanja treba biti definirana, kao i pitanje dokaza da ona postoji i da je jedinstvena za sva neuravnotežena stanja, još je uvijek uvelike neistraženo.’<sup>33</sup> No, bez obzira na to, istraživački prostor koji je Clausius otvorio najprije imenovanjem i definiranjem fenomena entropije, a zatim i teorijskim skokom na razinu svemira, pokazao se, s jedne strane, značajnim i plodnim, a s druge, opasnim zbog lako mogućih zastranjenja. Istraživanje entropije neposredno nakon Clausiusa nastavit će, prije svih, J. G. Maxwell i J. W. Gibbs. Potonji je Clausiusove doprinose razvio tako da je pojam entropije, osim u istraživanju toplinske energije, primijenio i u istraživanju drugih oblika energije, poput mehaničke ili kemijske.<sup>34</sup> 1860-ih i 70-ih je primjena s makroskopske razine klasične termodinamike također proširena na mikroskopsku razinu u statističkoj mehanici. Značajan je u tome doprinos, pored dvojice maloprije navedenih, i Ludwiga Boltzmann. Oni su analizirali statističko ponašanje mikroskopskih sastavnica sustava, poput brzine i položaja atoma i molekula.<sup>35</sup> Boltzmann je, osim toga, u entropiju i važenje drugoga zakona termodinamike unio pojam vjerojatnosti, a samu je entropiju promatrao kao ‘kvantificiranje ukupnog broja načina na koje određeni broj čestica može biti smješten u određeni broj energetske spremnika.’<sup>36</sup>

#### 1.4. Završni pregled

Za završno definiranje entropije, prvenstveno u području klasične termodinamike, i kao prijelaz na kasnija, iz izvornog konteksta izmještena izvođenja entropije, dobro će poslužiti neka udžbenička određenja. U jednome od njih stoji da je entropija ‘mjera količine nereda u svemiru ili raspoloživost energije u sustavu za pretvaranje u rad.’<sup>37</sup> U drugome pak da je ona ‘mjera

---

<sup>32</sup> U slučaju termodinamičkih strojeva, to rasipanje toplinske energije znači da ona ne može biti iskorištena za rad stroja.

<sup>33</sup> J. Uffink, ‘Bluff your way in the Second Law of Thermodynamics’, str. 81.

<sup>34</sup> R. T. Hanlon, *Block by Block*, str. 474.

<sup>35</sup> V. isto, poglavlja ‘Maxwell: the rise of statistical mechanics’ i ‘Boltzmann: the probabilistic interpretation of entropy’.

<sup>36</sup> Isto, str. 586-7.

<sup>37</sup> John Gribbin, *Q Is for Quantum. An Encyclopedia of Particle Physics*, The Free Press, New York, 1998., str. 186.

toplinske energije sustava po jedinici temperature koja nije raspoloživa za koristan rad. Budući da se rad dobiva iz uređenog molekularnog kretanja, količina entropije također je mjera molekularnog nereda ili nasumičnosti sustava.<sup>38</sup> Entropija je, dakle, mjera energije koja se na različite načine gubi i raspršuje umjesto da je u potpunosti usmjerena na iskoristivost u radu. Prema takvom određenju, kod automobila, primjerice, toplina koja nastaje pri radu motora raste i širi se i na dijelove koji nisu neophodni za sam rad, a da ne bi došlo do pregrijavanja, potrebno je hlađenje. No, sustav hlađenja, iako s jedne strane ima funkciju snižavanja temperature, s druge se prilikom svog rada također zagrijava i širi toplinsku energiju na susjedne dijelove. Osim toga, budući da je automobilski motor skupa s automobilom uvijek smješten u prostoru, energija se raspršuje na okolinu, a između njih bi se – automobila i nekog zatvorenog prostora – kada bi to bilo vremenski omogućeno, dogodilo toplinsko ujednačavanje. Otuda, pojednostavljeno rečeno, Clausiusov govor o toplinskoj ravnoteži i rastu entropije. No, još je jednom važno istaknuti, ovaj primjer, zajedno s navedenim udžbeničkim definicijama, nalazi se unutar Clausiusova skoka s reverzibilnih i zatvorenih termodinamičkih procesa na ireverzibilne i otvorene procese u svemiru. Zato je i definicije i primjer potrebno uzeti *cum grano salis*.

U ovome je poglavlju cilj bio ocrtati izvorno značenje entropije. U nastavku ću najprije na nekoliko primjera prikazati u kojim se nefizikalnim smjerovima i na koji način teorija entropije kretala, da bih zatim zadnje primjere u poglavlju iskoristio za procjenu prikladnosti pojma entropije u analizi uzroka ekološke krize.

---

<sup>38</sup> Gordon W. F. Drake, 'Entropy', *Encyclopaedia Britannica*, <https://www.britannica.com/science/entropy-physics>, pristup 27.12.2022.

## 2. Entropija izvan fizike

Namjera je u ovome poglavlju pokazati koliko je za različite pristupe pojam entropije na jednoj strani privlačan i plodan, a na drugoj, zbog svoje kompleksnosti, otvoren za stvaranje plitkih analogija i izvođenje neutemeljenih zaključaka.

### 2.1. Claude Shannon i informacijska teorija

Jedna od kasnijih istaknutih primjena pojma entropije dogodila se u informacijskoj teoriji. Američki matematičar i inženjer Claude Shannon objavio je 1948. članak ‘Matematička teorija komunikacije’<sup>39</sup> u kojemu je za razmatranje strukture prijenosa poruke iskoristio Boltzmannov statistički pojam entropije. U Shannonovu pristupu entropija ‘kvantificira minimalni broj binarnih brojkice koje su nužne za kodiranje simbola iskorištenih za prijenos poruka.’<sup>40</sup> Shannonova je namjera bila optimizirati prijenos bilo koje poruke tako da se reducira utjecaj dvaju čimbenika: prvo, neizvjesnosti zbog mogućeg neuspješnog prijenosa i gubljenja dijela informacije te, drugo, opreme koja bi bila u stanju ispuniti zahtjeve prijenosa. Ili, drugim riječima, ‘[nj]egov je cilj bio smanjiti broj signala koji su potrebni za prijenos poruka i time maksimizirati postotak prijenosa poruke s obzirom na ograničenja tehničke opreme.’<sup>41</sup> Razlog zbog kojeg je posegnuo za pojmom entropije Shannon je opisao ovako:

Moja najveća briga bila je kako to nazvati. Mislio sam dati naziv ‘informacija’, no ta je riječ već bila previše korištena pa sam odlučio dati naziv ‘neizvjesnost’. Kad sam o tome raspravljao s Johnom von Neumannom, on je imao bolju ideju. Rekao mi je, ‘Trebaš to nazvati entropijom, iz dva razloga. Kao prvo, tvoja funkcija neizvjesnosti koristi se u statističkoj mehanici pod imenom entropije, tako da ime već postoji. Kao drugo i važnije, nitko ne zna što je zapravo entropija pa ćeš u raspravama uvijek imati prednost.’<sup>42</sup>

Međutim, adekvatnost Shannonova preuzimanja pojma entropije, da ostanemo samo na tom dijelu njegove teorije, jest upitna. Kako kaže Hanlon, ‘Boltzmann i Shannon su krenuli s

---

<sup>39</sup> Claude E. Shannon, ‘A Mathematical Theory of Communication’, *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27, srpanj i listopad 1948., str. 379-423, 623-658. Sljedeće godine Shannon je objavio knjigu gotovo identičnog naslova, no umjesto ‘a theory’, u naslovu je stajalo ‘the theory’, čime je htio uputiti na općenito važenje spoznaja do kojih je došao (C. Shannon, *The Mathematical Theory of Knowledge*, University of Illinois Press, Illinois, 1949.).

<sup>40</sup> R. T. Hanlon, *Block by Block*, str. 605.

<sup>41</sup> Isto, str. 601.

<sup>42</sup> Citirano prema R. T. Hanlon, *Block by Block*, str. 596.

veoma različitih polazišta, a završili su na istoj jednadžbi, što ne znači nužno da su ta dva polazišta povezana. Boltzmannova entropija kvantificira broj različitih načina na koje zasebni entiteti mogu biti razmješteni na temelju lokacije i momentuma. Shannonova entropija [kao što je maločas rečeno, MČ] kvantificira minimalni broj binarnih brojki koje su nužne za kodiranje simbola iskorištenih za prijenos poruke.<sup>43</sup> Detaljnija prosudba o adekvatnosti Shannonova pristupa nadilazi tematsku granicu ovoga rada, kao što ju nadilazi i prosudba o njegovoj tvrdnji da je informacija fundamentalnija od energije.<sup>44</sup>

## 2.2. Erwin Schrödinger i biologija

Sljedeće preuzimanje pojma entropije koje valja istaknuti jest ono fizičara Erwina Schrödingera, koji je 1944. u knjizi *Što je život? Fizikalni aspekt žive stanice*<sup>45</sup> pojam entropije koristio kako bi objasnio razliku između nežive materije i organizma. O neživoj materiji Schrödinger ovako kaže:

Kada je neživi sustav izoliran ili stavljen u uniformno okruženje, sve kretanje obično veoma brzo dođe u mirovanje zbog različitih vrsta trenja; razlike u električnom ili kemijskom potencijalu se izjednače, tvari koje teže stvaranju kemijskih spojeva to i učine, a temperatura postaje ujednačena provođenjem topline. Nakon toga cijeli sustav prelazi u mrtvu, inertnu hrpu materije. Doseže se trajno stanje u kojemu se za opažanje ništa ne događa. Fizičar naziva ovo stanje termodinamičkom ravnotežom ili ‘maksimalnom entropijom’.<sup>46</sup>

Organizam ovaj proces ujednačenja izbjegava hranjenjem, pijenjem, disanjem i drugim oblicima razmjene sa svojom okolinom. Budući da, prema Schrödingera, djelovanje entropije nije moguće izbjeći, ono što organizam zapravo razmjenjuje s okolinom, odnosno uzima iz nje, jest negativna entropija:

Svaki proces i događaj – nazovite to kako hoćete; ukratko, sve što se zbiva u Prirodi znači povećanje entropije onog dijela svijeta u kojemu se ona događa. Stoga živi organizam neprestano povećava svoju entropiju – i na taj način teži približavanju opasnom stanju

---

<sup>43</sup> Isto, str. 605.

<sup>44</sup> Isto, str. 605.

<sup>45</sup> Erwin Schrödinger, *What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell & Mind and Matter & Autobiographical Sketches*, Cambridge University Press, New York, 2013.

<sup>46</sup> Isto, str. 69.



maksimalne entropije, koja je smrt. Jedini način na koji je se može kloniti, tj. biti živ, jest tako što iz svoje okoline kontinuirano crpi negativnu entropiju – koja je nešto veoma pozitivno (...). Ili, da se stvar postavi manje paradoksalno, ono ključno u metabolizmu jest to da organizam uspije u svom oslobađanju od sve entropije koju neminovno proizvodi dok živi.<sup>47</sup>

Kako bi otklonio konotaciju misterioznosti koja bi iz ovih određenja entropije mogla proizaći, Schrödinger najprije navodi objašnjenje promjene entropije kako ono stoji kod Clausiusa<sup>48</sup>, a zatim ga proširuje Boltzmannovim i Gibbsovim doprinosom, prema kojemu je, između ostalog, rast entropije povezan s rastom nasumičnosti (ili nereda) u rasporedu atoma i molekula.<sup>49</sup>

Pod negativnom entropijom Schrödinger podrazumijeva mjeru uređenosti. Ono što organizam radi kako bi preživio jest poništavanje vlastitog, uvjetno rečeno, nereda uzimanjem reda iz okoline. Viši organizmi, primjerice, uzimaju složene uređene tvari iz okoline i vraćaju ih u nju u degradiranom obliku. Kao najveći izvor negativne entropije pritom služi sunčeva energija.

Zbog takvog korištenja pojma negativne entropije, Schrödinger je kod kolega fizičara izazvao protivljenje i sumnju. Svoje opravdanje on nalazi u kontekstu iz kojega je knjiga *Što je život?* nastala. Naime, knjigu čine skupljena predavanja koja je držao pred publikom nestručnom u fizici. Otuda, objašnjava on, korištenje termina ‘negativna entropija’ umjesto termina ‘slobodna energija’, koji bi, priznaje, bolje odgovarao, ali koji, po njegovom sudu, u kontekstu predavanja ne naglašava dovoljno razliku spram pojma energije i teži je za razumijevanje od termina ‘negativna entropija’.<sup>50</sup>

Pored Shannona i Schrödingera, odnosno informacijske teorije i biologije, korištenje pojma entropije proširilo se i na druga područja. Kako navodi Ingo Müller, ‘entropija i njezina svojstva nisu prestali poticati originalnu misao širom znanosti sve do danas:

- biolozi računaju povećanje entropije u diversifikaciji vrsta,
- ekonomisti koriste entropiju za procjenu distribucije dobara,

---

<sup>47</sup> Isto, str. 70.

<sup>48</sup> V. prethodno poglavlje u ovom radu.

<sup>49</sup> E. Schrödinger, *What Is Life?*, str. 72.

<sup>50</sup> Isto, str. 74.

- ekolozi govore o rasipanju resursā u terminima entropije [o tome više u sljedećem poglavlju, MČ]
- sociolozi pripisuju entropiju miješanja integraciji etničkih skupina te užarenost miješanja njihovoj tendenciji odjeljivanja.<sup>51</sup>

Međutim, u tim izvođenjima postoji ‘opasnost od nedostatka intelektualne temeljitosti’ i zapadanja u ‘plitke analogije.’<sup>52</sup>

### 2.3. Jeremy Rifkin i populariziranje entropije

Knjiga Jeremyja Rifkina *Entropija. Novi pogled na svijet*<sup>53</sup> vjerojatno je najpoznatiji pokušaj građenja filozofskog sustava utemeljenog na pojmu entropije. Nakon njenog prikaza i izlaganja slabih točaka, ona će služiti kao spona s radom Nicholasa Georgescu-Roegenaa, preko kojega se otvara pristup razmatranju ekološke krize, a zatim će služiti kao jedan od poligona za ispitivanje adekvatnosti i eventualne korisnosti pojma entropije u marksističkoj analizi aktualne ekološke krize.

Rifkin zagovara tezu prema kojoj Zakon Entropije<sup>54</sup> predstavlja paradigmu sljedećeg perioda u povijesti koja će zamijeniti njutnovsku mehanicističku paradigmu. Za razliku od Newtonovih načela koja su utemeljena na matematici i u teoriji svaku promjenu u kretanju materije promatraju kao reverzibilnu, Zakon Entropije počiva na strogoj i potpunoj ireverzibilnosti.<sup>55</sup> Ta se ireverzibilnost nalazi u drugom zakonu termodinamike (koji Rifkin izjednačava sa Zakonom Entropije), a za Rifkina on glasi: ‘materija i energija mogu biti promijenjene samo u jednome smjeru, to jest, iz iskoristive u neiskoristivu, ili iz raspoložive u neraspoločivu, ili iz uređene u neuređenu. U biti, drugi zakon tvrdi da je sve u cijelome svemiru počelo sa strukturom i vrijednošću te da se neopozivo kreće u smjeru nasumičnog kaosa i otpada.’<sup>56</sup> Nadalje, ‘kada se stvori bilo kakav oblik reda na Zemlji ili u svemiru, to je postignuto uz trošak izazivanja još većeg nereda u okolini.’<sup>57</sup> Rast entropije znači smanjenje raspoložive

---

<sup>51</sup> I. Müller, *A History of Thermodynamics*, str. 73. Za pristup koji koristi entropiju u istraživanju biološke evolucije, v. npr. John Avery, *Information Theory and Evolution*, World Scientific Publishing Co., Singapur, 2003. Za pristup koji ju koristi u makrosociološkoj teoriji sustava, v. npr. Kenneth D. Bailey, *Social Entropy Theory*, SUNY Press, New York, 1990.

<sup>52</sup> I. Müller, *A History of Thermodynamics*, str. 73.

<sup>53</sup> Jeremy Rifkin, *Entropy. A New World View*, The Viking Press, New York, 1980.

<sup>54</sup> Velika početna slova nalaze se u originalu.

<sup>55</sup> J. Rifkin, *Entropy*, str. 47.

<sup>56</sup> Isto, str. 6.

<sup>57</sup> Isto, str. 6.

energije; ta se neraspoloživa energija rasipa i, u sljedećem koraku, postaje otpad i zagađenje. Entropija je, prema tome, drugo ime za zagađenje.<sup>58</sup>

Iako je Zakon Entropije utemeljio na poimanju entropije kakvo se, u sličnom ali ipak bitno različitom obliku, nalazi u klasičnoj termodinamici – naime, kao ‘mjeru količine energije koja više nije u stanju biti pretvorena u rad’<sup>59</sup> – ono što je Rifkin iz toga izveo može se opisati, najblaže rečeno, kao pretjerivanje. Za njega Zakon Entropije predstavlja bit same stvarnosti,<sup>60</sup> on je sveobuhvatan, posjeduje ‘gotovo mističnu privlačnost’<sup>61</sup> i ‘treba ga se osjetiti jednako koliko i razumjeti.’<sup>62</sup> Sveobuhvatan je zato što djeluje na raspoloživost energije i zbog toga utječe na političke sustave, nacije, tržište i industriju. Ipak, ta posvudašnjost, napominje Rifkin, odnosi se samo na horizontalni, ‘fizički svijet gdje je sve konačno’, a ‘šuti (...) kad se radi o vertikalnom svijetu duhovne transcendencije.’<sup>63</sup> Međutim, Rifkin skače sam sebi u usta kada Zakon Entropije prebacuje i na mentalne procese – ‘što je više faza u mentalnom procesu, to su veće složenost, apstrakcija i centralizacija, i to su veći rasipanje energije i nered’<sup>64</sup> – i kada usmjerenost vremena direktno izvodi iz ograničenja koja postavlja Zakon Entropije.<sup>65</sup> Na taj način on uvodi determinizam u kojemu slobodnoj volji preostaje samo usporiti ili ubrzati djelovanje Zakona Entropije. Pored toga, jednim se potezom i *en masse* poništava ideja historijskog progressa.

Ocjena Rifkinova sustava može se sažeti ovako: iako su elementi koji ga čine dobrim dijelom zasebno održivi i smisleni, cjelina u kojoj se nalaze, a čiji su temelji pogrešno postavljeni, podređuje ih jednoj novoj metafizici. Primjerice, nije se teško složiti s tvrdnjom da je energija osnova ljudske kulture i života te da iskorištavanje energije utječe na društvenoekonomska kretanja.<sup>66</sup> Isto tako, tvrdnja da iskoristiva i iskorištena energija u spoju s materijom u konačnici uvelike završava kao otpad i zagađenje također nije dvojbena. Međutim, svođenje svega na jedan zakon ne samo da je prejednostavno, nego je i pogrešno.

---

<sup>58</sup> Isto, str. 36.

<sup>59</sup> Isto, str. 35.

<sup>60</sup> Isto, str. 38.

<sup>61</sup> Isto, str. 7.

<sup>62</sup> Isto, str. 38.

<sup>63</sup> Isto, str. 8.

<sup>64</sup> Isto, str. 166.

<sup>65</sup> Isto, str. 50.

<sup>66</sup> Isto, str. 57.

Već na samome početku gradnje svog sustava, Rifkin čini presudnu pogrešku kada kaže da drugi zakon termodinamike, ili Zakon Entropije, tvrdi da materija i energija ireverzibilno prelaze iz iskoristivog u neiskoristivo stanje. U klasičnoj termodinamici nema govora o entropiji materije, a jedini oblik energije kojim se klasična termodinamika bavila bila je toplinska. Drugi oblici, poput kemijske i mehaničke, bit će predmetom istraživanja u statističkoj mehanici Boltzmana i drugih, no njihov doprinos, u kojemu se nalazi važno uvođenje pojma vjerojatnosti, Rifkin naprosto odbacuje.<sup>67</sup> Jednako presudna pogreška nalazi se u Rifkinovom posve neopravdanom obilatim i olakom širenju primjene entropije na otvoreni sustav – onaj u kojemu između sustava i njegove okoline postoji razmjena i energije i materije.

Pogovor Rifkinovoj knjizi napisao je Nicholas Georgescu-Roegen.<sup>68</sup> Rifkinova knjiga velikim je dijelom inspirirana upravo Georgescu-Roegenovim radom, a možda najveći izvor zbrke kod Rifkina je Georgescu-Roegenovo formuliranje tzv. četvrtog zakona termodinamike. O tom zakonu i o Georgescu-Roegenu više će govora biti u idućem potpoglavlju. Ovo ćemo zaključiti jednom preciznom ocjenom Rifkina: ‘Rifkinova knjiga, u svojem pokušaju da integrira fizikalne znanosti s društvenim znanostima, ispostavlja se kao potpuno slaba u oba područja.’<sup>69</sup>

#### **2.4. Nicholas Georgescu-Roegen i ekološka ekonomija**

Nicholas Georgescu-Roegen (1906. – 1994.) rumunjsko-američki je ekonomist koji se ubraja u heterodoksnu ekonomsku tradiciju. Glavna obilježja njegova kasnijeg rada, od 1960-ih do smrti, jesu kritičnost prema antiekološkoj orijentaciji neoklasične ekonomije i, u vezi s time, golem doprinos utemeljenju discipline bioekonomije ili ekološke ekonomije. Jedna od njegovih središnjih teza jest ta da je ekonomija ograničena fizikom i ekologijom.

---

<sup>67</sup> Isto, str. 41-2.

<sup>68</sup> Nicholas Georgescu-Roegen, ‘Afterword’, u: Jeremy Rifkin, *Entropy. A New World View*, The Viking Press, New York, 1980., str. 261-9.

<sup>69</sup> Jeffrey Rogers Hummel, ‘Medieval World View in Modern Jargon. Review of *Entropy. A New World View*’, *Reason*, 1981., str. 60-2., ovdje str. 62.

Godine 1971. Georgescu-Roegen je objavio svoje središnje djelo *Zakon Entropije i ekonomski proces*.<sup>70</sup> Slično kao i Rifkin, Georgescu-Roegen koristi Zakon Entropije kao temeljno eksplanatorno načelo; no, za razliku od Rifkina, ne smatra da je on univerzalno, sveobjašnjavajuće načelo, već ga koristi za objašnjavanje ovisnosti ekonomskih procesa o fizikalno uvjetovanoj materijalnoj bazi. Poseban fokus u analizi takve fizikalne uvjetovanosti usmjeren je kod Georgescu-Roegen na termodinamiku i njen drugi zakon uz koji je vezan pojam entropije.

U onome što slijedi, paralelno s prikazom pojedinosti Georgescu-Roegenove teorije izlagat ću njezine problematične aspekte i kritike koje su joj upućene.

Glavni izvori za Georgescu-Roegenovo razumijevanje entropije jesu Clausius i Schrödinger.<sup>71</sup> Tako on, u najkraćim crtama, od Clausiusa preuzima tzv. teorijski skok kojim je Clausius entropiju nastojao prenijeti na razinu svemira, a od Schrödingera tezu o negativnoj entropiji prema kojoj se organizmi ne održavaju konzumirajući naprosto energiju i materiju, nego snižavajući svoju pozitivnu entropiju uzimanjem negativne entropije iz okoline.

Novina koju Georgescu-Roegen unosi jest formuliranje četvrtog zakona termodinamike. Iako i sam priznaje da se ne radi o 'naročito spretnom terminološkom izboru'<sup>72</sup>, smatra da četvrti zakon prikladno nadograđuje entropijske promjene. Nekoliko je formulacija koje daje:

- A. Neraspoloživa materija ne može biti reciklirana.
- B. Zatvoreni sustav (tj. sustav koji ne može razmjenjivati materiju s okolinom) ne može unedogled i s konstantnom vrijednošću izvoditi rad.<sup>73</sup>
- C. U zatvorenome sustavu, raspoloživa se materija neprestano i nepovratno rasipa postajući time nedostupnom.<sup>74</sup>

Za razliku od Zakona Entropije čije je polje važenja energija, važenje četvrtog zakona, prema Georgescu-Roegenu, primjenjuje se na materiju.<sup>75</sup> Međutim, već iz osnova

---

<sup>70</sup> Nicholas Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Cambridge (MA), 1971. U ovome radu koristit ću izdanje knjige iz 1973.

Kao i Rifkin, Georgescu-Roegen zakon entropije piše velikim početnim slovima.

<sup>71</sup> Nicholas Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process*, str. 130. i 192.

<sup>72</sup> Nicholas Georgescu-Roegen, 'Afterword', str. 265.

<sup>73</sup> Isto, str. 265-6.

<sup>74</sup> Nicholas Georgescu-Roegen, 'Energy, Matter, and Economic Valuation: Where Do We Stand?', u: Herman E. Daly i Alvaro F. Umaña, *Energy, Economics, and the Environment*, Westview, Boulder, 1981., cit. prema Paul Burkett, *Marxism and Ecological Economics. Toward a Red and Green Political Economy*, Brill, Leiden & Boston, 2006., str. 146.

<sup>75</sup> Isto, str. 266.

termodinamike koje su predstavljene u prvome poglavlju ovog rada, jasno je da je stvaranje termodinamičkog zakona koji bi vrijedio za materiju slabo osnovana analogija. Slično vrijedi i za Georgescu-Roegenov Zakon Entropije, o kojemu on primjerice tvrdi: ‘*individualni* organizam u konačnici podliježe Zakonu Entropije.’<sup>76</sup> S druge strane, vidljivo je na mnogim mjestima da je upoznat s ograničenjima koja klasična termodinamika postavlja, primjerice, kada kaže da se ‘moramo (...) uzdržati od govora o entropiji materije kao mjerljivom entitetu. Postoji mjerljiva entropija za energiju zato što je energija homogena; materija u spojevima, nasuprot tome, jest heterogena’<sup>77</sup> ili ‘Zakon Entropije primjenjuje se samo *na izolirani sustav kao cjelinu*’.<sup>78</sup> Razlog zbog kojeg Georgescu-Roegen toliko ekstenzivno koristi pojam entropije za svoja razmatranja ne može onda biti nijedan drugi nego taj da je u njemu našao veoma korisnu analogiju; no, čak i malo dublje ulaženje u njenu preciznost pokazuje da je ona izrazito klimava, štoviše, neodrživa.

Bez obzira na tu neadekvatnost, ono na što Georgescu-Roegen primjenjuje pojam entropije, naime uvjetovanost ekonomskih procesa fizikalno i biološki određenom materijom, jest smisleno, baš kao i mnogo toga što on o toj uvjetovanosti kaže, poput tvrdnji da ‘slobodna energija ne može biti iskorištena više od jedanput’<sup>79</sup> ili ‘što se brže ekonomski proces kreće, to se brže akumulira štetan otpad.’<sup>80</sup> Razlika se nalazi u tome što bi umjesto pojma entropije mnogo bolje odgovarali neki drugi pojmovi. Mnogi kritičari, bili oni po stajalištu bliski Georgescu-Roegenu ili udaljeni od njega, upravo to ističu kao glavnu zamjerku.<sup>81</sup> Kritike idu od toga da “četvrti zakon” nema status u fizici<sup>82</sup>, a time ni u ekonomiji<sup>83</sup> do toga da je ‘toplina jedini oblik energije koji ima izravan odnos prema entropiji.’<sup>84</sup> Prikladniji pojmovi koje neki autori nude jesu, s jedne strane, slobodna

---

<sup>76</sup> Nicholas Georgescu Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process*, str. 192.

<sup>77</sup> N. Georgescu-Roegen, ‘Afterword’, str. 266.

<sup>78</sup> N. Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process*, str. 192.

<sup>79</sup> Isto, str. 296.

<sup>80</sup> Isto, str. 305.

<sup>81</sup> Usp.: ‘Dok Georgescu-Roegen zaslužuje priznanje zbog zasnivanja polja ekološke ekonomije – svojim utjecajnim tekstovima, posebno *Zakonom Entropije i ekonomskim procesom* – i zbog poticanja rasprave u vezi otpada i ekonomskog procesa, njegova termodinamička promišljanja doživjela su kritičko pobijanje kako unutar tako i izvan diskursa ekološke ekonomije’, D. Schwartzmann, ‘The limits to entropy: Continuing misuse of thermodynamics in environmental and Marxist theory’, str. 44-5.

<sup>82</sup> Robert A. Ayres, ‘The Second Law, the Fourth Law, Recycling and Limits to Growth’, *Ecological Economics*, 1999., vol. 29, Issue 3, str. 473-483, ovdje str. 474.

<sup>83</sup> Geoffrey P. Hammond i Adrian B. Winnett, ‘The Influence of Thermodynamic Ideas on Ecological Economics: An Interdisciplinary Critique’, *Sustainability*, 1, 2009., str. 1195-1225, ovdje str. 1218.

<sup>84</sup> Stephen L. Gillett, ‘Entropy and Its Misuse, I. Energy, Free and Otherwise’, *Ecological Economics*, 56, 2006., str. 58-70, ovdje str. 59.

energija, a s druge egzergija. Dok bi slobodna energija naprosto bila energija raspoloživa za rad<sup>85</sup>, egzergija je, poput entropije, pojam preuzet iz termodinamike, a označava ‘maksimalnu količinu iskoristive energije koju se pod određenim uvjetima može uzeti iz nekog sustava.’<sup>86</sup>

Usprkos zabrudama i konfuziji koju je Georgescu-Roegen stvorio, nekoliko njegovih doprinosa ima trajan značaj. Prije svega, važno je njegovo isticanje ograničenja koja ovisnost o energetske i materijalne određenim resursima postavlja ekonomskim procesima. Drugo, to isticanje dolazi zajedno s njegovim suprotstavljanjem neoklasičnom modelu koji ‘nastoji isključiti energiju i materijale kao faktore proizvodnje, ili pretpostavlja veliki stupanj zamjenjivosti između njih i ljudskog kapitala.’<sup>87</sup> Neoklasični model promatra ekonomske procese kao samoodrživi ‘izolirani kružni tijek novca’ pri čemu se odnos spram prirodnih resursa promatra samo kao odnos prema eksternalijama<sup>88</sup>, a isključivi cilj ekonomskih aktivnosti jest ekonomski rast.<sup>89</sup> I treće, s obzirom da je razmatrao ovisnost ekonomije o materijalnim izvorima i da je smatrao da oni ireverzibilno sve više prelaze iz stanja raspoloživosti u stanje neraspoloživosti, važno je njegovo promišljanje o tome koji bi izvor na duge staze ekonomski bio najodrživiji. U tom je pogledu Georgescu-Roegen bio pesimist jer je smatrao da, kao prvo, potpuno recikliranje nije moguće, i, drugo, da Sunce, kao naš najveći izvor energije, zbog podlijeganja drugome zakonu termodinamike i toplinske smrti također ne može biti, da tako kažemo, vječni izvor energije.<sup>90</sup> Iako ni Sunčeva energija nije neiscrpna, svakako je u tom smislu bolja, da uzmemo samo najtoksičnije primjere, od neobnovljivih fosilnih goriva ili od nuklearne energije koja se također dobiva iz ograničenih sirovih tvari. Iako je, dakle, izvor sunčeve energije konačan, on ipak, kaže Georgescu-Roegen, daleko nadmašuje bilo koji drugi izvor.<sup>91</sup>

---

<sup>85</sup> Isto, str. 59.

<sup>86</sup> Tomas Kåberger i Bengt Månsson, ‘Entropy and Economic Processes – Physics Perspectives’, *Ecological Economics*, 36, 2001., str. 165-179, ovdje str. 171.

<sup>87</sup> Cutler J. Cleveland and Matthias Ruth, ‘When, Where and by How Much Do Biophysical Limits Constrain the Economic Process? A Survey of Nicholas Georgescu-Roegen’s Contribution to Ecological Economics’, *Ecological Economics*, 22, 1997., str. 203-223, vodje str. 216.

<sup>88</sup> G. P. Hammond i A. B. Winnett, ‘The Influence of Thermodynamic Ideas on Ecological Economics’, str. 1215.

<sup>89</sup> Nicholas Georgescu-Roegen, ‘Afterword’, str. 268.

<sup>90</sup> Usp. ‘Naš Sunčev sustav, naprimjer, teži definitivno prema toplinskoj smrti, a naposljetku prema nestanku’ (N. Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process*, str. 202.).

<sup>91</sup> Isto, str. 304.

Potpoglavlje koje slijedi ima dvostruku funkciju. Prva nastavlja razmatranje ekološke krize koje se nalazi kod Georgescu-Roegenaa i njime inspiriranim Rifkinom uz jedan ključan dodatak, a to je uvođenje političkoekonomskog konteksta – kapitalizma – u kojemu se govor o aktualnoj ekološkoj krizi nalazi. Druga funkcija jest daljnje praćenje pojma entropije kojemu će se sada pridružiti upravo taj političkoekonomski dodatak. Naime, marksistički autori – preciznije, ekosocijalisti (ili marksistički ekolozi) – kojima će se baviti, pozitivno su vrednovali Georgescu-Roegenov rad, štoviše, preuzeli su pojam entropije u onom obliku u kojem ga on koristi. Rasplet sljedećeg poglavlja trebao bi pokazati je li njihovo korištenje pojma entropije adekvatno i, ovisno o ishodu te prosudbe, uputiti na pitanje o tome koji koraci preostaju u povezivanju zakona entropije i ekološke krize.

## **2.5. Marksizam i entropija**

### **2.5.1. Nasljeđe Georgescu-Roegenaa**

Paul Burkett, autor koji je uz Johna Bellamyja Fostera među onima koji su vjerojatno najviše radili na spajanju Marxa s ekologijom, o časopisu utemeljenom na radu Georgescu-Roegenaa, *Ecological Economics*, kaže sljedeće: ‘temeljito pregledavanje *Ecological Economics*, predvodničkog časopisa discipline, počevši od njegovog prvog broja iz 1989., pokazalo je da je prisutnost marksista u njemu blizu nule.’<sup>92</sup> Zaključak je tog pregledavanja da ne samo autori zastupljeni u tom časopisu nego i ekološki ekonomisti općenito ‘ne drže važnom ulogu društveno-ekonomskih klasnih odnosa u stvaranja problema s okolišem, nego daju prednost manje-više slobodno lebdećim ideološkim i tehnološkim faktorima.’<sup>93</sup> Pored toga, premda ekološki ekonomisti optužuju neoklasičnu teoriju da zanemaruje ovisnost ekonomskih procesa o uvjetima koje postavlja priroda, sami veoma često koriste ‘osnovni neoklasični okvir ponude i potražnje s podrškom u teoriji marginalne korisnosti i marginalne produktivnosti.’<sup>94</sup> Odnos Paula Burketta, da se zasad zadržimo samo na njemu, prema ekološkoj ekonomiji u pristupu ekološkoj krizi sadrži jedan negativan i jedan pozitivan aspekt: s jedne strane on, dakle, nastoji pokazati proturječja i granice ekološke ekonomije, među kojima su neke od najistaknutijih predrasude prema Marxu i Engelsu

---

<sup>92</sup> Paul Burkett, *Marxism and Ecological Economics*, str. 4.

<sup>93</sup> Isto, str. 6

<sup>94</sup> Isto, str. 8.



(primjerice, predrasude da su ‘ignorirali prirodna ograničenja, slavili ljudsku dominaciju nad prirodom (...) [ili] da su prigrlili antiekološki industrijalizam’<sup>95</sup>); s druge strane, entropijska ekonomija Georgescu-Roegenaa i njegovoga glavnog nastavljača Hermana Dalyja služi Burkettu u ne baš kratkoj fazi njegova rada kao jedan od nosivih stupova.

U ovome ću se poglavljju posvetiti tretiranju entropije kakvo se nalazi prvenstveno u radu Burketta i Bellamyja Fostera, dok ću u sljedećem, između ostalog, njihovu marksističku poziciju iskoristiti za ispitivanje toga kako se postaviti spram ekološke krize imajući u vidu doprinos koji je, usprkos nerijetkim slabostima analogija, promišljanje entropije iznjedrilo.

Za početak i izravno ulaženje u stvar, ovo je određenje entropije koje Burkett daje:

Entropija je mjera ukupnog nereda, nasumičnosti ili kaosa u sustavu: povećana entropija znači veći nered. Drugi zakon [termodinamike, MČ] kaže da je entropija izoliranoga termodinamičkog sustava strogo nepadajuća, to jest, da se energija pretvara samo iz uređenijih u manje uređene oblike. Toplina se, primjerice, može samo rasipati: ona neće spontano teći s hladnijeg na topliji predmet ili područje u izoliranom sustavu.<sup>96</sup>

Nadalje, ‘ako se uređenost energije interpretira kao mjeru njezine raspoloživosti ili koristi, onda zakon entropije implicira da sve preobrazbe energije pretvaraju energiju u manje raspoložive i korisne oblike.’<sup>97</sup> Posljednje, ‘[e]nergija ne može biti preobražena u rad bez rasipanja dijela energije kao nepovratne topline.’<sup>98</sup> Kao što se može vidjeti, Burkettovo razumijevanje ne odstupa u nekim formulacijama mnogo od Rifkinovog razumijevanja (premda, svakako, nema grandiozni Rifkinov doseg), kao što ne odstupa ni od udžbeničkih određenja. Burkett ne ulazi dublje u termodinamičke i druge specifikacije entropije, nego se koristi bazičnim i u dobroj mjeri plitkim određenjem entropije. Ipak, u kasnijoj fazi će se fazi bavljenja termodinamikom i entropijom razlikovati od Georgescu-Roegenaa i posebno od Rifkina po tome što će entropiju korektno nastojati održati u odgovarajućem okviru – onom (toplinske) energije. Ta je kasnija faza obilježena njegovom suradnjom s Johnom Bellamyjem Fosterom; u prethodnoj fazi, u kojoj je nastala njegova knjiga *Marksizam i ekološka ekonomija* iz koje su izvučena gornja određenja entropije, Burkett još uvijek stoji blizu Georgescu-

---

<sup>95</sup> Isto, str. 10.

<sup>96</sup> Isto, str. 141.

<sup>97</sup> Isto, str. 141.

<sup>98</sup> Isto, str. 141.

Roegenu pa važenje entropije širi i na materiju, kao naprimjer u tvrdnji ‘povećanje entropije događa se i u samoj proizvodnji (rasipanje topline i materijalnih zagađivača) i u zbrinjavanju proizvodā jednom kada su iskorišteni.’<sup>99</sup> Zbog toga su Burkettu, s jedne strane, dolazile pohvale što je teme ekološke ekonomije nadogradio marksističkom teorijom, a s druge, prigovori što preuzimanjem obmanjujućih razumijevanja entropije čini marksističkoj teoriji medvjedu uslugu.<sup>100</sup>

Slično se može reći i za knjigu Roberta Biela *Entropija kapitalizma*.<sup>101</sup> Autorova namjera u toj knjizi jest pokazati da su ‘društvene kontradikcije fundamentalne i da je ekološka kriza rezultat borbe da se te kontradikcije drži podalje i na štetu ubrzano iscrpljivanog okoliša.’<sup>102</sup> Jezgrovito rečeno, ‘kapitalizam je *inherentno* neprirodan.’<sup>103</sup> Međutim, iako su ove tvrdnje validne, alat kojim ih se nastoji opravdati nije prikladan. Kao i u ranijim slučajevima, posezanje za entropijom može se učiniti kao korisna analogija; fizikalno gledano, mnogo je aspekata koji se pritom bilo uzimaju olako bilo posve izostavljaju. Tako Biel primjerice tvrdi: ‘treba izbjeći *izvoz otpada (još jedne reprezentacije entropije*<sup>104</sup>) kojim bi se potkopali balansirajući mehanizmi koji bi nam trebali omogućiti siguran pristup solarnoj energiji.’<sup>105</sup> I slično, ‘[k]ada su konzumirani, resursi se pretvaraju u *visoku entropiju (otpad)*<sup>106</sup>. Društveni sustav utemeljen na intenzivnom korištenju resursa jest neodrživ, ne samo u smislu unošenja [*input*] resursa nego i njegova iznošenja [*output*].’<sup>107</sup> Svrha ovih navoda jest da pokažu da i Biel stoji na liniji apliciranja pojma entropije kakvo se nalazi u Georgescu-Roegenovom tzv. četvrtom zakonu termodinamike.

### 2.5.2. Zaokret

Nakon takvih gotovih preuzimanja elemenata iz djela Georgescu-Roegena, u marksističkoj je teoriji ipak došlo do pozitivne promjene. Ona se dogodila ponajprije u već spomenutoj suradnji Paula Burketta s Johnom Bellamyjem Fosterom. Iako se ni u tom drugačijem pristupu nije radilo o kritičnijem i dubljem ulaženju u razmatranje entropije, u njemu se ipak odmaknulo od

---

<sup>99</sup> Isto, str. 144.

<sup>100</sup> David Schwartzmann, ‘The Limits to Entropy’, str. 50. i 59.

<sup>101</sup> Robert Biel, *The Entropy of Capitalism*, Brill, Leiden & Boston, 2012.

<sup>102</sup> Isto, str. 118.

<sup>103</sup> Isto, str. 152.

<sup>104</sup> Kurziv moj.

<sup>105</sup> Isto, str. 22.

<sup>106</sup> Kurziv moj.

<sup>107</sup> Isto, str. 23.

prenapregnute pozicije Georgescu-Roegen i stvari su velikim dijelom postavljene na svoje mjesto. U tom je pristupu, umjesto služenja entropijom kao bitnim elementom sustava, Fosteru i Burkettu najviše stalo do toga da obrane Marxa i Engelsa od optužbi, prije svih, ekoloških ekonomista koji tvrde da ova dvojica nisu dovoljno u svoj rad unijeli spoznaje iz prirodnih znanosti, a napose iz klasične termodinamike i njenog drugog zakona.<sup>108</sup>

Joan Martínez Alier, istaknuti povjesničar ekološke ekonomije, predvodnik je u kritiziranju Marxa i Engelsa zbog tobožnjeg zanemarivanja i pogrešnog razumijevanja termodinamike. Za Engelsa on primjerice tvrdi da zbog svog poimanja dijalektike prirode nije bio voljan 'prihvatiti da se prvi i drugi zakon termodinamike mogu zajedno primjenjivati.'<sup>109</sup> Posebno je problematičan, prema Alieru i drugim kritičarima<sup>110</sup>, Engelsov – a implicitno i Marxov – odnos prema drugome zakonu zbog njegove povezanosti s tezom o smrti svemira. Naime, dok se prvi zakon odnosi na očuvanje energije, drugi govori o njezinom rasipanju. Engelsovi kritičari navode mnoge razloge zbog kojih je on odbacivao drugi zakon. Da spomenemo samo neke: prema Alieru, kako smo maločas vidjeli, istovremeno očuvanje i rasipanje energije nije dijalektički obradivo; prema Kolakowskom, Engels je drugi zakon odbacio tvrdnjom da se rasuta i neiskoristiva energija negdje drugdje u svemiru opet koncentrira;<sup>111</sup> prema Bensaïdu, premda, za razliku od većine kritičara, priznaje njegove doprinose ekološkoj ekonomiji, Engels je rezerviran spram zakona entropije jer ga smatra više materijalističkom filozofijom nego znanstvenim pojmom i jer je u njemu, zbog teze o smrti svemira, vidio ideološki plodno tlo za mogući povratak religije.<sup>112</sup>

Burkettova i Fosterova obrana Marxa i Engelsa kreće od primarne razine koja se tiče upoznatosti ove dvojice s njima suvremenim zbivanjima u klasičnoj termodinamici (i fizici općenito). Tvrdnja da su bili slabo poznati naprosto ne stoji:

---

<sup>108</sup> V. npr. J. B. Foster i P. Burkett, 'Classical Marxism and the Second Law of Thermodynamics'.

<sup>109</sup> Joan Martínez Alier, 'Social Metabolism and Environmental Conflicts', u: L. Panitch i C. Leys (ur.), *The socialist register, 2007: Coming to terms with nature*, Monthly Review Press, New York, str. 273-293., ovdje str. 275.

<sup>110</sup> Među njih spadaju i poljski filozof i povjesničar ideja Leszek Kolakowski te francuski marksist Daniel Bensaïd (J. B. Foster i P. Burkett, 'Classical Marxism and the Second Law of Thermodynamics', str. 5-6.).

<sup>111</sup> Leszek Kolakowski, *Main Currents of Marxism. Its Origin, Growth, and Dissolution*, vol.3: *The Breakdown*, Clarendon Press, Oxford, 1978., str. 150.

<sup>112</sup> Daniel Bensaïd, *Marx for Our Times. Adventures and Misadventures of a Critique*, Verso, London & New York, 2009., str. 332.

[z]namo iz njihovih bilješki i pisama da su od ranih 1850-ih proučavali radove i/ili prisustvovali predavanjima mnogih znanstvenika uključenih u razvoj prvog i drugog zakona – uključujući ne samo Clausiusa i Thomsona nego i Hermanna von Helmholtza, Juliusa Roberta Mayera, Johna Tyndalla, William Roberta Grovea, Jamesa Clarka Maxwella, Jamesa Prescottta Joulea, Justusa von Liebiga, Adolpha Ficka, Jean-Baptiste-a Josepha Fouriera, Sadija Carnota, Petera Guthrieja Taita, Ludwiga Boltzmana i Ludwiga Büchnera.<sup>113</sup>

Što se tiče Engelsova odnosa prema drugome zakonu, on se, na ono malo mjesta u *Dijalektici prirode* i drugdje, njime više bavio u kontekstu toplinske smrti svemira nego što je analizirao sam pojam entropije. U vezi s time, nije poricao važenje drugoga zakona, pogotovo ne za termodinamičke procese na Zemlji i u Sunčevu sustavu, nego je, zbog slabe istraženosti područja, stavio pod upitnik njegovo važenje na razini svemira. Sljedeća dva navoda to pokazuju:

A. 'Clausiusov drugi zakon, itd., kako god da ga se može formulirati, pokazuje energiju kao izgublenu, kvalitativno ako ne kvantitativno. *Entropija ne može biti uništena prirodnim putem, ali zasigurno može biti stvorena*. Sat svijeta treba biti napet, zatim nastavlja raditi sve dok ne dođe u stanje ravnoteže iz kojega ga jedino čudo može opet pokrenuti.'<sup>114</sup>

B. 'Pitanje o tome što se događa s očito izgubljenom toplinom postavljeno je jasno, na neki način, tek od 1867. (Clausius). Ne čudi da još nije riješeno; možda će proći još mnogo vremena prije nego što sa svojim skromnim sredstvima dođemo do rješenja.'<sup>115</sup>

Namjera Burketta i Fostera bila je obraniti Englsa (i Marxa) od različitih neutemeljenih diskreditacija koje su nerijetko bile ideološki motivirane. Ta tema, međutim, nadilazi područje interesa ovoga rada. Bitnije je bilo pokazati u kojem se smjeru preuzimanje entropije u recentnijoj marksističkoj teoriji kretalo. U onome što preostaje, pokušat ću iz dosad prikazanih razmatranja entropije izvući materijal vrijedan za analizu uzrokā trenutne ekološke krize.

---

<sup>113</sup> J. B. Foster i P. Burkett, 'Classical Marxism and the Second Law of Thermodynamics', str. 8.

<sup>114</sup> Friedrich Engels, *Dialectics of Nature*. Notes and Fragments, u: Karl Marx i Friedrich Engels, *Collected Works*. Volume 25. Engels, International, New York, 1975., str. 313-591., ovdje str. 563.

<sup>115</sup> Isto, str. 562.

### 3. Ekološka kriza i kapitalizam

#### 3.1. 'Prokleti dio'

Nakon prikaza puta koji je pojam entropije prešao od svog utemeljenja u termodinamici do brojnih primjena u različitim disciplinama, sada ću pokušati razdvojiti njegovo adekvatno korištenje od analogija u kojima se miješalo odgovarajuće značenje s pojavama na koje ga se apliciralo. Pritom mi je važno zadržati u vidu i jedno i drugo. Naime, kao u slučaju primjerice Georgescu-Roegenaa, smatram da su mnoge njegove tvrdnje u dobroj mjeri valjane i vrijedno ih je zadržati bez obzira na to što ih je u svom pristupu zamutio govorom o Zakonu Entropije. Intencija je, dakle, u odnosu na vezivanje ekološke krize i entropije, iz rada ekoloških ekonomista i, u većoj mjeri, marksističkih ekologa izdvojiti vrijedne i teorijski točno postavljene elemente.

Za početak, radi postavljanja opće slike, poslužit ću se jednim sugestivnim i snažnim izrazom francuskog filozofa Georgesa Bataillea kojim on označava društveno i ekonomski stvoren otpad i višak. Radi se o izrazu 'prokleti dio', kojim je ujedno naslovio svoju knjigu iz 1949.<sup>116</sup> Taj je izraz na tragu najuobičajenijeg poimanja entropije kao prelaska iz uređenog stanja u neuređeno, no sâm Bataille, iako opsežno analizira značaj energije za ekonomiju, nije posezao za pojmom entropije kao analogijom, nego je ostao pri svom poetskom izrazu.

Prokleti se dio, prema Batailleu, odnosi ponajprije na zbivanja u ekonomiji i društvu, ali vrijedi i na razini žive prirode. Kako kaže,

živi organizam, u situaciji određenoj igrom energije na površini planeta, obično prima više energije nego što je nužno za održanje života; višak energije (bogatstvo) može biti iskorišten za rast sustava (tj. organizma); ako sustav ne može više rasti ili ako višak ne može biti potpuno apsorbiran za rast sustava, višak nužno mora bez dobitka biti izgubljen; mora biti potrošen, s voljom ili bez nje, veličanstveno ili katastrofalno.<sup>117</sup>

Prokleti dio je, dakle, višak – bilo na razini organizma bilo na razini društva i ekonomije – koji u konačnici negdje mora završiti. Dva su temeljna smjera odnošenja s viškom – stvaralački i

---

<sup>116</sup> Georges Bataille, *The Accursed Share. An Essay on General Economy*, Zone Books, New York, 1988.

<sup>117</sup> Isto, str. 21.

razaralački. Kao jedan od primjera stvaralačkog, možemo opet uzeti organizam: ‘ [t]o da u pravilu organizam na raspolaganju ima više izvora energije nego što je nužno za procese koji održavaju život (funkcionalne aktivnosti i, kod životinja, esencijalno muskularno gibanje, potragu za hranom) evidentno je iz funkcija poput rasta ili reprodukcije.’<sup>118</sup> Kao razaralačku potrošnju viška energije, Bataille navodi, između ostalog, rat.<sup>119</sup> Za završni element predstavljanja onoga što Bataille naziva prokletim dijelom, uzet ću njegov stav prema ekonomiji utemeljenoj na *homo economicus*: ‘[t]vrditi da je nužno rasipati znatan dio stvorene energije, pretvarajući je u dim, protivi se nazorima koji tvore osnovu racionalne ekonomije.’<sup>120</sup>

Paralela između Batailleovog prokletog dijela i razumijevanja entropije predstavljenih u ovom radu jest očita. Entropija kako ju razumije, primjerice, Georgescu-Roegen jest također neki ‘prokleti dio’ – spoj energije i materije koji se rasipa postajući neiskoristivim. Osim toga, Bataille je isto tako naglašavao da ‘neobazrivost čovjeka na materijalnu osnovu njegovog života još uvijek uzrokuje da on čini veoma ozbiljne greške.’<sup>121</sup> Ako se sada ostavi po strani paralela između Bataillea i (pogrešnih) razumijevanja entropije, upravo se u tom neobaziranju na viškove koji destruktivno djeluju na materiju – tj. prirodu – nalazi fokalna točka ovoga rada. U njegovom prvome dijelu nastojao sam ispitati odgovara li pojam entropije toj destruktivnoj tendenciji. Zaključak koji je proizašao jest da je polje važenja entropije definirano i da pristup ekološkoj krizi treba biti širi i labaviji, u smislu da se njene uzroke ne može podvesti pod jedan pojam (točnije, zakon).

### 3.2. Trošenje ekološke baze: evolucijska i historijska perspektiva

Zanimljivo je i znakovito da se period utemeljenja termodinamike kao moderne znanosti i period prepoznavanja štetnog utjecaja, prije svega, industrijskog razvoja na prirodu podudaraju. U oba se slučaja radi o drugoj polovici 19. stoljeća.<sup>122</sup> Ako se kao glavni motiv razvoja termodinamike uzme težnja za usavršavanjem parnoga stroja i maksimiziranja njegove iskoristivosti, onda se kao klimaks, a ujedno i antiklimaks, može uzeti upravo konačna

---

<sup>118</sup> Isto, str. 27.

<sup>119</sup> Isto, str. 23.

<sup>120</sup> Isto, str. 22.

<sup>121</sup> Isto, str. 21.

<sup>122</sup> Već je 1832. Charles Babbage u djelu *O ekonomiji strojeva i manufakturā* (Cambridge University Press, New York, 2010.) upozorio na posljedice koje korištenje parnih strojeva u tvornicama ima na zbivanja u atmosferi. Efekt staklenika objasniti će tri desetljeća kasnije John Tyndall, a prve izračune o porastu temperature na Zemlji zbog emisije ugljičnog dioksida dat će Svante Arrhenius krajem 19. stoljeća (Andreas Malm, *Fossil Capital. The Rise of Steam Power and the Roots of Global Warming*, Verso, London i New York, 2016., epub).

matematička potvrda da savršeni stroj, *perpetuum mobile*, zbog rasipanja energije i rasta entropije nije moguć. Ne samo da se industrijski san rasplinuo nego se pored toga otkrilo brojne druge štetne nuspojave industrijskog razvoja i sustava koji ga je pogonio.

Kada se govori o sustavu unutar kojeg je industrijski razvoj poduprt znanstvenim istraživanjima doživio svoj uzlet, radi se, dakako, o kapitalizmu. Prema Marxu, kapitalistička je industrijalizacija proces u kojem ‘znanost uvlači prirodne resurse u službu rada’<sup>123</sup>, koji se pak nalazi pod pritiscima privatnog stvaranja profita. Kako ističe Burkett, ‘u kapitalizmu razvoj proizvodnje temeljene na strojevima i složena podjela rada među kompetitivnim poduzećima stvaraju nečuvena povećanja u radnoj produktivnosti, koja nužno uključuju jednako nečuven rast u korištenju sirovih materijala.’<sup>124</sup> Općenito pak gledano, ‘ekonomija je rasipalački [*dissipative*] sustav koji ujedno crpi iz svog prirodnog okoliša (zapravo ga potkopava) i u njega nazad baca otpad.’<sup>125</sup>

Banalna je činjenica da ljudsko društvo ovisi o materijalnim i energetske resursima. Malo manje banalna činjenica jest da su određena društva iscrpljivanjem tih resursa ugrozila svoj opstanak. Robert Biel napominje da su ‘[p]ojedina društva u prošlosti propala trošenjem svoje ekološke baze, primjerice na Uskršnjem otoku, no utjecaj je bio samo lokalni. Kapitalizam je prvi takav slučaj gdje je utjecaj globalan. Ono čemu svjedočimo (...) je više ili manje prijetnja globalnog Uskršnjeg otoka. Cijela je poanta opet, naravno, kompleksnost: nije samo reprodukcija individualnih vrsta žrtvovana, nego, iznad svega, složena cjelina u kojoj one međusobno djeluju.’<sup>126</sup>

Na razini evolucijske biologije, ‘trošenje ekološke baze’ nije karakteristika samo čovjeka. S čovjekom je, međutim, ono doseglo neusporedivu razmjere. Kako bi se vidjelo u čemu se sastoji jedinstvenost čovjekova trošenja, poslužit ću se onime što o razlici između čovjeka i ne-ljudskih životinja navodi Engels u svom tekstu ‘Uloga rada pri pretvaranja majmuna u čovjeka’. On najprije kaže:

[č]opor majmuna zadovoljavao se time da poždere svu hranu na svome području, čija je veličina zavisila od geografskog položaja ili otpora susjednih čopora. On se selio s jednog

---

<sup>123</sup> Karl Marx, *Value, Price, and Profit*, International Publishers, New York, 1976. [1898.], str. 34.

<sup>124</sup> P. Burkett, *Marxism and Ecological Economics*, str. 199.

<sup>125</sup> Isto, str. 180.

<sup>126</sup> Robert Biel, *The Entropy of Capitalism*, str. 23.

mjesta na drugo i stupao u borbu da dobije novo područje hrane, ali je bio nesposoban da iz tog područja izvuče više nego što je ono od prirode davalo, osim što ga je nesvjesno đubrio svojim izmetom.<sup>127</sup>

A zatim:

životinja se samo *koristi* vanjskom prirodom i izaziva u njoj promjene naprosto svojim prisustvom; čovjek međutim primorava je, promjenama koje u nju unosi, da služi njegovim ciljevima, *vlada* njome. I to je posljednja, bitna razlika između čovjeka i ostalih životinja, i opet je rad taj koji stvara tu razliku.<sup>128</sup>

Čovjek ne samo da kao i druga živa bića troši svoju ekološku bazu nego ju povrh toga na temelju rada preobražava i stvara dodatnu vrijednost – višak, koji će, da načinimo historijski skok, postati jednim od središnjih predmeta prvenstveno trgovine, a onda i ekonomske aktivnosti općenito.

Druga stavka u tom trošenju ekološke baze tiče se svijesti o implikacijama koje se u njemu nalaze. Dok ne-ljudske životinje svoju bazu troše bez svijesti o povezanosti primarne baze – one koja je pojedinoj vrsti nužna za opstanak – s ostalim bazama, čovjek svoju troši globalno – njegova baza takoreći ne poznaje granice ili, drugačije rečeno, sve može postati njenim dijelom. Odatle totalnost aktualne ekološke krize. Čovjek, zahvaljujući ponajprije znanosti, može rasvijetliti veze između mikrobaza i utjecaje koji se između njih prelijevaju. Može, prema tome, uvidjeti da pretjerano iskorištavanje ili uništavanje jednog dijela baze utječe na druge dijelove, i to redovito na negativan način. Čovjek, dakle, posjeduje svijest o cjelini i svojem mjestu u njoj te je zbog toga, s jedne strane, jedini sposoban za njeno masovno uništenje kao što je, s druge, jedini odgovoran za njenu i, u konačnici, svoju održivost.

Međutim – i sada je vrijeme da s evolucijske prijedemo na historijsku razinu – pri govoru o ekološkoj krizi nije dovoljno govoriti o čovjeku naprosto, štoviše, dobrim je dijelom pogrešno, jer se previđaju mnoge bitne pojedinosti. Dvije su važne za naglasiti. Prva je ta što se govorom o čovjeku prikrivaju mnoge identitetske razlike, od kojih ću istaknuti onu između muškaraca i žena. Njome je, naime, obuhvaćena i razlika između uloga koje su muškarci i žene

---

<sup>127</sup> Friedrich Engels, 'Uloga rada pri pretvaranju majmuna u čovjeka', u: *Glavni radovi Marxa i Engelsa*, prir. A. Dragičević, V. Mikecin i M. Nikić, Stvarnost, Zagreb, 1979., str. 1107-1115., ovdje str. 1110.

<sup>128</sup> Isto, str. 1113.



imali u tretiranju ekološke baze. Neprecizan govor o čovjeku kao takvom prikriva, između ostalog, čitavu povijest patrijarhata i svih izrabljivanja koja su s njime povezana.<sup>129</sup>

Druga pojedinost tiče se razlika između historijskih razdoblja. Jednostavna je činjenica da se tretiranje ekološke baze kroz ljudsku povijest ne događa na jednak način. Iz te raznolikosti izdvojit ću dva značajna elementa – rast populacije i stav prema prirodi. Pretpostavka obaju elementa jest povratni odnos prema ekološkoj bazi: uzimanje iz nje materijalnih i energetske resursa te, nakon njihovog iskorištavanja, vraćanje nazad najčešće u degradiranom obliku. Rast populacije je posebno vezan za taj povratni odnos, jer znači povećanu potrebu za resursima. Jedan primjer iz svakodnevice: ako je više domaćinstava koja se zimi griju na drveni ogrjev, veća će biti sječa šuma. Rastom se populacije, posebno ako politika iskorištavanja resursa nije ili ne uspijeva biti racionalna, ugrožava mogućnost daljnjeg opstanka i jedne i druge strane – i populacije i ekološke baze. Rast populacije, međutim, ne znači i nužno upadanje u tzv. maltusovsku zamku, prema kojoj rast populacije nije praćen jednakim rastom materijalne proizvodnje i opskrbe, što naposljetku dovodi do gladi, ratova, siromaštva i odumiranja populacije. Čuven je Marxov napad na Malthusa,<sup>130</sup> a tematika kojom se Malthus bavio prisutna je i u kontekstu ekološke krize. Primjerice, neki su neomaltuzijanci 20. stoljeća tvrdili, između ostalog, da drugi zakon termodinamike postavlja granice održivoj razini ljudske populacije.<sup>131</sup> Međutim, njihova se pogreška nalazi u tome što su Zemlju uzeli kao izolirani sustav i time zanemarili potencijal energije Sunca.<sup>132</sup> Ukupno gledano, aktualna kriza ekološke baze svakako stavlja u fokus pitanje ovisnosti populacije o kapacitetima ekološke baze, no umjesto segregacije ljudi na one koji imaju veći ili manji pristup resursima, stvar bi trebalo okrenuti i, zajedno sa Schwartzmannom, poentirati: ‘Zemlja jest prenapučena – ali milijarderima.’<sup>133</sup>

Čovjekov stav prema ne-ljudskoj prirodi također je kroz povijest doživio preinake. Pored jedne konstantne linije ovisnosti o resursima, postojale su različite koncepcije odnosa

---

<sup>129</sup> Vezom između patrijarhata i ekološke krize bavi se tradicija ekofeminizma. Kao pregledni članak o čitavoj feminističkoj okolišnoj filozofiji, uključujući i ekofeminizam, v. npr. Karen J. Warren, ‘Feminist Environmental Philosophy’, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2015., <https://plato.stanford.edu/entries/feminism-environmental/#SocPer> [pristup 5.2.2023.]

<sup>130</sup> Za pregled odnosa između, s jedne strane, Marxa i Engelsa, a s druge Malthusa, v. npr. Richard J. Wiltgen, ‘Marx’s and Engels’s Conception of Malthus. The Heritage of a Critique’, *Organization & Environment*, Vol. 11, No. 4 (1998), str. 451-460.

<sup>131</sup> Garrett Hardin, *Living with Limits. Ecology, Economics, and Population Taboos*, Oxford University Press, New York, 1993.

<sup>132</sup> D. Schwartzmann, ‘The Limits to Entropy’, str. 48.

<sup>133</sup> Isto, str. 49.

između čovjeka i ne-ljudske prirode. U širokom potezu gledano, može se reći da u ‘čovjekovoj povijesti postoji razvoj od *inkluzivirajućega* do *oponirajućega* pojma prirode.’<sup>134</sup> Neću opsežno ulaziti u historijskomaterijalističku analizu ‘inkluzivirajućeg’ pojma, nego ću za njega samo ugrubo reći da se referira na predmodernu razdoblje ljudske povijesti i da je njime čovjekova pozicija označena kao dio prirode (cjeline), a ne kao iz prirode izdignuta i postavljena nad nju. Suprotno nerijetkim idealiziranjima predmodernog razdoblja, prema kojima se čovjekov odnos s prirodom opisuje kao skladan, smatram da se jedan od razloga tadašnjemu manjem odcjepljenju od prirode nalazi u većem strahopoštovanju prema njenim silama. S napretkom u njihovom razumijevanju, rasla je i uvjerenost u sposobnost njihovom odupiranju. S druge strane, postoji dobra osnova za slaganje s Burketom kada kaže da su predmoderni društva, premda u manjem obujmu nego ona kasnija, ‘imala svoje oblike otuđenja od prirode (i, posljedično tome, vlastite oblike ekološke krize).’<sup>135</sup> Naime, koliko god se čovjek nastojao povezati s prirodom i poštovati njen ustroj, ostaje činjenica da je priroda zbog svoje složenosti i bazične nepredvidljivosti uvijek u stanju iznenaditi. Osim toga, budući da ljudsko društvo ovisi o crpljenju resursā iz prirode, sanjarsko povezivanje s njom uzmiče pred grubom potrebom održanja društva i odnosā moći koji postoje kako u relaciji spram prirode tako i unutar samog društva.

‘Oponirajući’ se pojam, da nastavimo o Hösleovoj distinkciji, vezuje uz nastanak modernog doba i s njime povezanih pojava, ponajprije uz nastanak kapitalizma i razvoj znanosti u današnjem smislu riječi. Obično se kao dva središnja slučaja tog novog, prirodi drastično suprotstavljenog stava, uzima filozofije Renéa Descartesa i Francisa Bacona. Descartesova se pozicija može ukratko ovako opisati:

[p]reobrazbom prirode u *res extensa* koja se može kvantificirati i matematizirati fizika postaje paradigmatskom prirodnom znanosti, kojoj u načelu mora zavidjeti i biologija. Time se okončava dotadašnji čovjekov intelektualni i emocionalni odnos prema prirodi: priroda postaje čovjekovim Drugim, nemilosrdno je podređena njegovoj apsolutnoj suverenosti.<sup>136</sup>

---

<sup>134</sup> Vittorio Hösle, ‘Duhovnopovijesni temelji ekološke krize’ (izvadak iz djela *Filozofija ekološke krize*), u: Tomislav Krznar (ur.), *Čovjek i priroda. Prilog određivanju odnosa*, Pergamena, Zagreb, 2013., str. 75-92., ovdje str. 78.

<sup>135</sup> Paul Burkett, *Marxism and Ecological Economics*, str. 166f.

<sup>136</sup> Vittorio Hösle, *Filozofija ekološke krize*, Matica hrvatska, Zagreb, 1996., str. 46-7.

Usp.: ‘mjesto ove spekulativne filozofije, koja se uči u školama, može se naći praktična, pomoću koje bismo tako točno upoznali snagu i djelovanje vatre, vode, zraka, zvijezda, nebeskog svoda i svih drugih tijela, koja nas okružuju, kao što poznajemo različite stručne vještine naših obrtnika, i mogli ih na isti način upotrebljavati u sve svrhe, za koje su prikladne, te tako postati gospodarima i vlasnicima prirode’ (R. Descartes, ‘Gospodari i vlasnici

Bacon, na istoj osnovi, tvrdi: ‘stanje znanosti nije sretno i nije mnogo uznapredovalo; ljudskom se razumu mora otvoriti put posve drukčiji negoli je bio poznat do sada i moraju se pribaviti druga pomoćna sredstva, kako bi um mogao najbolje iskoristiti svoje pravo na prirodu.’<sup>137</sup> Razvidno je da je čovjek u ovim koncepcijama ne samo nadređen prirodi nego da je priroda svedena na beskrajno raspoloživo sredstvo. Svrha podvrgavanja prirode i znanstvenog pronicanja u nju jest istodobno njeno razumijevanje i iskorištavanje ili, bolje rečeno – razumijevanje kako bi ju se onda iskoristilo.

Za kakve se potrebe razvija takvo znanstveno podvrgavanje prirode? Ako se ostavi po strani naoko posve benigno i čisto nastojanje da se razumiju zakoni prema kojima priroda funkcionira, glavna se svrha sastoji u uprezanju prirodnih znanosti za skroz praktične ciljeve, naime čovjek prirodu mora iskoristiti za svoje ekonomske potrebe. Znanost nije slobodna od ideologije, vrhunska su istraživanja, i danas i u vrijeme Descartesa i Bacona, izuzetno skupa, a bliskost najvećih znanstvenika onog doba s političkim i ekonomskim moćnicima jest dobro poznata. Valja također naglasiti da istovremenost intenzivnog razvoja znanosti i nastanka kapitalizma nije slučajna. Kako navodi David McNally o Baconu:

[p]reciznije od većine svojih suvremenika, Bacon je prepoznao da živi u razdoblju kada se događaju temeljite promjene u ljudskim poslovima. Otkriće Novoga svijeta; poljoprivredna revolucija; razvoj izumā, trgovine i industrije – sve je to najavljivalo zoru novog doba napretka. Mogućnosti tog novog doba često su se tumačile u milenijским terminima dok su blizanačke sile religijske reformacije i političke revolucije svoj utjecaj vršile u umovima ljudi. Ipak, Bacon se bojavao da bi dogmatska privrženost starim filozofskim sustavima mogla spriječiti ostvarenje mogućnosti koje je stvorilo ovo razdoblje promjene.<sup>138</sup>

Da sada ponovimo maloprijašnji Burketov citat s ostatkom koji nakon njega slijedi:

[p]retkapitalistička su društva imala svoje oblike otuđenja od prirode (i, posljedično tome, vlastite oblike ekološke krize). U svim klasnim društvima, pristup proizvođača prirodnim uvjetima organičen je zahtjevima eksploatacije. Pod feudalizmom, primjerice, većina zemlje i

---

prirode’ (izvadak iz djela *Rasprava o metodi*, Nakladni zavod Matice hrvatske, Zagreb, 1951., str. 49-61.), u: T. Krznar, *Čovjek i priroda*, str. 57-66., ovdje str. 58.).

<sup>137</sup> Francis Bacon, ‘Moć i posjedovanje’, u: T. Krznar, *Čovjek i priroda*, str. 67-74., ovdje str. 67.

<sup>138</sup> David McNally, *Political Economy and the Rise of Capitalism. A Reinterpretation*, University of California Press, Berkeley, 1988, str. 36-7.

njezinih proizvoda bila je rezervirana za gospodare. No, pod kapitalizmom, ograničeni odnos proizvođača prema prirodi dobiva oblik historijski ekstremne društvene odvojenosti od materijalnih uvjeta proizvodnje i, analogno tome, ekstremne dominacije same proizvodnje preko kapitala (stvaranja profita).<sup>139</sup>

Ekstremnost kapitalističke odvojenosti od materijalnih uvjeta tolika je da su neki istraživači period globalne dominacije kapitalističkog sustava nazvali kapitalocenom, suzivši time prethodni, dijelom neodređeniji, naziv ‘antropocen’.<sup>140</sup>

Specifičnost kapitalizma, posebno u njegovom kasnijem, razvijenom obliku, sastoji se u njegovoj izuzetnoj otvorenosti i adaptivnosti. Kao što aktualna ekološka kriza, koja se javila kao njegov nusproizvod, ima obilježje totalnosti, isto vrijedi i za sam kapitalistički sustav.<sup>141</sup> S jedne strane, kapitalizam je obilježen ‘neprekidnim prevratima u proizvodnji, neprekidnim potresanjem svih društvenih odnosa, vječnom nesigurnošću i kretanjem.’<sup>142</sup> S druge, to vječno kretanje kapitalizma isključivo je podređeno ‘očuvanju njega *samoga* kao sustava, tj. kontroli kapitalističke klase nad sredstvima za proizvodnju – prirodom – i nad ljudima.’<sup>143</sup> Interesi radničke klase i održiv pristup prirodi (kao, između ostalog, izvoru materije i energije) podređeni su perpetuiranju kapitalističkog rasta.

Otvorenost i adaptivnost kapitalizma vidljiva je u sposobnosti sustava da za svoje potrebe upije raznorodne, samome sebi čak i strane, elemente. Nešto se takvo događa u slučaju takozvanog zelenog, ili ekološki održivog, kapitalizma. Prema Adrienne Buller, zeleni kapitalizam nastoji spojiti ‘očuvanje postojećih kapitalističkih sustava i odnosa’ s ‘osiguranjem novih područja za akumulaciju u tranziciji prema dekarboniziranoj i ekološki održivoj

---

<sup>139</sup> P. Burkett, *Marxism and Ecological Economics*, str. 166-7f.

<sup>140</sup> V. npr. Jason W. Moore (ur.), *Anthropocene or Capitalocene? Nature, History, and the Crisis of Capitalism*, PM Press, Oakland (CA), 2016. John Bellamy Foster i Brett Clark, umjesto o kapitalocenu, govore o kapitalinijanu [*Capitalinian*] kao o prvoj *geološkoj* fazi antropocena, koju bi kao zajednički cilj trebao naslijediti komunijan [*Communian*]. U komunijanu bi, suprotno od prethodne faze, društvo bilo utemeljeno na ‘temeljnoj jednakosti i ekološkoj održivosti’ (v. John Bellamy Foster i Brett Clark, ‘The Capitalinian: The First Geological Age of the Anthropocene’, *Monthly Review*, 1. rujana 2021., <https://monthlyreview.org/2021/09/01/the-capitalinian/> [pristup 12.2.2023.]).

<sup>141</sup> U tom kontekstu nepostojanja alternative ili zauzimanja cijelog polja zamišljanja drugačijeg političkoekonomskog sustava, vrijedi se samo prisjetiti Fukuyamine teze o kraju povijesti i konačne, posvemašnje pobjede zapadnjačke liberalne demokracije i, u paketu s njom, kapitalizma (Francis Fukuyama, *The End of History and the Last Man*, Free Press, NYC, 1992.).

<sup>142</sup> Karl Marx i Friedrich Engels, *Manifest komunističke partije*, u: *Glavni radovi Marxa i Engelsa*, prir. A. Dragičević, V. Mikecin i M. Nikić, Stvarnost, Zagreb, 1979., str. 370.

<sup>143</sup> P. Burkett, *Marxism and Ecological Economics*, str. 33.

ekonomiji.<sup>144</sup> Može se reći da je zeleni kapitalizam, iz njegove perspektive gledano, pokušaj pretvaranja neugodne nužde u vrlinu okretanjem rastućeg političkog pritiska u svoju korist. Međutim, veliko je pitanje koliko je, i je li uopće, sustav koji počiva na slijedenju privatnog interesa maksimiziranja profita sposoban svojevrijedno skrenuti sa svoje putanje i barem dijelom žrtvovati svoja načela. Pitanje je, dakle, kakav dugoročno održiv može biti odgovor zelenog kapitalizma na rastuće trošenje i uništavanje ekološke baze.

Rješenja koja nudi kao i trenutno stvarno stanje implementacije njegovih načela pokazuju da je zeleni kapitalizam mnogo koraka prekratak, štoviše, da kapitalistička osnova naprosto guta pozitivni zeleni dodatak koji uza sebe nastoji vezati. Kako, primjerice, proizlazi iz istraživanja Adrienne Buller, pred dilemom između ‘zelenog’ i ‘kapitalističkog’, odabir će ići prema potonjem: ‘[k]ada su moćni političari iz Teksasa i Zapadne Virginije, država izuzetno ovisnih o fosilnim gorivima, pokušali organizirati bojkot tvrtki poput BlackRock [američke multinacionalne kompanije i najvećeg svjetskog upravitelja imovine, M. Č.], optužujući ih da su zarobljene ‘woke kapitalizmom’, rukovoditelji BlackRocka su se očekivano distancirali od agresivnijih klimatskih ciljeva.’<sup>145</sup> Primjeri su brojni: ‘financijska je industrija radosno ulila trilijune dolara u zeleno označenu imovinu za koju se potom ispostavilo da uopće nije zelena. (...) 71 % ESG-fondova<sup>146</sup> (koji navodno odražavaju ekološke, socijalne i upravljačke kriterije) negativno je usklađeno s ciljevima Pariškog klimatskog sporazuma.’<sup>147</sup> I ono najbitnije, što kratko i precizno ocrtava dugi period veze između kapitalizma i prirode: ‘[d]vije trećine ukupne emisije [ugljičnog dioksida i metana, M. Č.] od Industrijske revolucije do danas potječe od samo 90 korporacija.’<sup>148</sup>

---

<sup>144</sup> Adrienne Buller, *The Value of a Whale. On the Illusions of Green Capitalism*, Manchester University Press, Manchester, 2022., str. 12.

<sup>145</sup> Matt Huber, “Green Capitalism” Is a Lie. Review of Adrienne Buller, *The Value of a Whale*, *Jacobin*, 19.10.2022., [https://jacobin.com/2022/10/green-capitalism-blackrock-climate-finance?fbclid=IwAR27o55ZTwnxJmoz5b2HyfLJUpqeBvVsOkJW\\_HnZexdLAXYCp4LoiCdSMnc](https://jacobin.com/2022/10/green-capitalism-blackrock-climate-finance?fbclid=IwAR27o55ZTwnxJmoz5b2HyfLJUpqeBvVsOkJW_HnZexdLAXYCp4LoiCdSMnc) [pristup 12.2.2023.]

Također: Simon Jessop, ‘Drop in BlackRock’s Support for Environmental, Social Resolutions’, *Reuters*, 26.7.2022., <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/drop-blackrocks-support-environmental-social-resolutions-2022-07-26/> [pristup 12.2.2023.]

<sup>146</sup> ESG-standardi (= ‘environmental’, ‘social’ i ‘governance’) opisuju kako neka tvrtka stoji s obzirom na ekološke, socijalne i upravljačke standarde.

<sup>147</sup> Katharina Pistor, ‘The Myth of Green Capitalism’, *Project Syndicate*, 21.9.2021., <https://www.project-syndicate.org/commentary/green-capitalism-myth-no-market-solution-to-climate-change-by-katharina-pistor-2021-09> [pristup 12.2.2023.]

<sup>148</sup> Isto.

Izvorna znanstvena studija: Richard Heede, ‘Tracing anthropogenic carbon dioxide and methane emissions to fossil fuel and cement producers, 1854–2010’, *Climatic Change*, 122 (2014.), str. 229–241.

Vidljivo je, dakle, na ovom malom broju supstancijalnih primjera da dodatak ‘zeleni’ ne mijenja mnogo na stvari. Kapitalizam, s tim dodatkom ili bez njega, ostaje sustav u kojemu su dobici privatni, a gubici društveni, javni i, mora se dodati, prirodni. Ono što treba podvući jest da je trenutna ekološka kriza najvećim dijelom proizvod kapitalizma i da njene pogubne posljedice najmanje trpi – zato što ima najviše materijalnih sredstava da ih ublaži – upravo kapitalistička klasa.

### 3.3. Georgescu-Roegen i Marx

U prethodnom dijelu pokušao sam – iako bez direktnog korištenja entropije kao eksplanatornog načela zbog razloga navedenih ranije – u kratkim crtama prikazati što se događalo s trošenjem ekološke baze kao izvorom energije i materije. Ako se entropiju uzme u labavom smislu, kako ju je u jednoj fazi svog rada uzimao Burkett, onda se trenutna ekološka kriza doista pokazuje kao povećanje nereda, gomilanje otpada, silno trošenje raspoložive energije – ukratko, kao rezultat ireverzibilnog procesa čije su posljedice sve teže.<sup>149</sup>

Sada ću se pozabaviti jednim važnim pitanjem kojim se Georgescu-Roegen oštro suprotstavio Marxu. Radi se o pitanju odnosa između klasne borbe i borbe oko resursā. Naime, Georgescu-Roegen je smatrao da će se ‘socijalni konflikt produžiti neodređeno u budućnost ne zbog cijepanja ljudskog društva u klase, nego zbog nadolazeće borbe oko niskoentropičnih resursa’,<sup>150</sup> odnosno onih resursa čija energetska i materijalna vrijednost još nije rasipanjem postala neraspoloživom. Kako sam kaže,

kao i Marx, i ja vjerujem da socijalni konflikt nije naprosto ljudski proizvod bez ikakvog korijena u ljudskim materijalnim uvjetima. No, za razliku od Marxa, smatram da, baš zato što konflikt ima takvu bazu, on ne može biti eliminiran niti ljudskom odlukom niti društvenom evolucijom čovječanstva. Marksistička dogma u svojoj razumljivoj formi često je bila slavljena kao nova religija. U jednom smislu, ta je misao točna: poput svih religija, dogma

---

<sup>149</sup> Jedan navod iz Bellamyja Fostera koji bi te posljedice trebao učiniti zornijima: ‘kvantitativno povećanje ugljičnog dioksida u atmosferi rezultiralo je kvalitativnim promjenama klime dovoljnim da zaprijetе ljudskoj egzistenciji i čak onoj većine života na Zemlji. Druge planetarne granice koje su prijedene ili su u procesu da ih se prijeđe jesu rast kiselosti oceana, gubitak biološke raznolikosti (i nestanak vrsta), poremećaj ciklusa dušika i fosfora, gubitak površinskog pokrova (uključujući šume), gubitak izvora pitke vode (uključujući dezertifikaciju) te kemijsko i radioaktivno zagađenje okoliša’ (John Bellamy Foster, ‘The Return of the Dialectics of Nature’, *Historical Materialism* (2022), str. 1-26., ovdje str. 19.

<sup>150</sup> Andrea Maneschi, ‘The Filiation of Economic Ideas: Marx, Schumpeter, Georgescu-Roegen’, *History of Economic Ideas*, vol. 14, no. 2, 2014., str. 105-25., ovdje str. 118.

tvrdi da u čovjekovoj budućnosti postoji vječno blaženo stanje. Jedina je razlika u tome što Marx obećava takvo stanje ovdje na zemlji: jednom kada su sredstva za proizvodnju socijalizirana nastupanjem komunizma, to će biti kraj društvene promjene.<sup>151</sup>

Tome dodaje da '[s]ocijalizacija sredstava za proizvodnju, jasno je, neće moći promijeniti ovu činjenicu. Samo kad bi se čovječanstvo vratilo u situaciju gdje je svako domaćinstvo (ili svaki klan) samodovoljna ekonomska jedinica, ljudi bi se prestali boriti oko svog anonimnog udjela u ukupnom prihodu.'<sup>152</sup> Za Georgescu-Roegen, socijalni je konflikt posljedica čovjekova konflikta s prirodom; samim time, socijalne razlike među ljudima posljedica su razlika u onome što pojedine skupine ili društvene klase za sebe u borbi s prirodom iz nje izvuku. Na temelju te dvosmjernje borbe, Georgescu-Roegen izvlači ključ za objašnjenje nejednakosti najprije između ljudi i ne-ljudskih životinja, a onda i između ljudskih skupina i klasa. Slično kao Engels, i on smatra da rad, ili višak stvoren radom, čini distinktivno evolucijsko obilježje čovjeka:

[p]tica, da uzmemo uobičajenu ilustraciju, leti za insektom *vlastitim* krilima i hvata ga *vlastitim* kljunom, tj. endosomatskim instrumentom koji je prirodno individualno vlasništvo ptice. Isto zasigurno vrijedi za primitivne egzosomatske instrumente korištene u najranijoj fazi ljudske organizacije, primitivnom komunizmu, kako ga Marx zove. (...) No, ljudski instinkti, uz vještinu i dokonu znatiželju, postupno su se domislili egzosomatskim instrumentima sposobnim za stvaranje više od onoga što je porodični klan trebao. (...) Budući da egzosomatski instrumenti nisu bili prirodno, neraskidivo vlasništvo individualne osobe, prednost dobivena iz njihovog usavršavanja postala je osnovom za nejednakost između različitih članova ljudske vrste kao i između različitih zajednica.<sup>153</sup>

Da rezimiram, razlike među društvenim skupinama posljedica su različitog, uspješnijeg ili manje uspješnog, odnosa prema ekološkoj bazi. Te razlike generiraju konflikt koji je neukidiv upravo zbog ovisnosti o resursima. Budući da umjesto samodovoljnih ekonomskih jedinica postoji globalna tržišna mreža, nije moguće ukinuti borbe između ljudi, koje, pak, stoje u jednako napetom povratnom odnosu prema prirodnim resursima. Čitav ovaj proces Georgescu-Roegen veže uz Zakon Entropije i njegovu glavnu premisu o ireverzibilnom smanjenju energije-materije koja stoji na raspolaganju.<sup>154</sup>

---

<sup>151</sup> N. Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process*, str. 306.

<sup>152</sup> Isto, str. 308.

<sup>153</sup> Isto, str. 307-8.

<sup>154</sup> Usp. npr.: 'borba za život koju vidimo u cijeloj biološkoj domeni jest prirodna posljedica Zakona Entropije' (isto, str. 307.).

Glavni Georgescu-Roegenov prigovor Marxu tiče se društvene statičnosti koja bi nastupila ostvarenjem komunizma. Ukratko rečeno, nemoguće je ukinuti klasne sukobe. Kao neku vrstu potvrde Georgescu-Roegenova stava, možemo uzeti primjer Sovjetskog Saveza, gdje su klasni odnosi, iako u drugačijem obliku nego u zapadnjačkim kapitalističkim društvima, svejedno opstali.<sup>155</sup> Osim toga, u Sovjetskom je Savezu odnos prema ekološkoj bazi obilježen golemom industrijalizacijom i svojevrsnim "ekocidom", koji simboliziraju nuklearna nesreća u Černobilu, zahvat na Bajkalskom jezeru, isušivanje Aralskog mora, kao i ekstremno visoke razine zagađenja zraka i vode.<sup>156</sup>

Međutim, premda se Georgescu-Roegenu može dati za pravo u vezi neukidivosti dinamike socijalnih odnosa i njihove uvjetovanosti ekološkom bazom, smatram da je poanta cjelokupne Marxove analize, unatoč možda suviše naivnom optimizmu glede komunističkog društva, svejedno itekako održiva. Za sažeti prikaz Marxove pozicije možemo uzeti sljedeći ulomak iz *Kapitala*:

[k]apitalistička proizvodnja ... remeti cirkulaciju materije između čovjeka i zemlje, tj. sprječava povratak u tlo njegovih elemenata koje je čovjek konzumirao u obliku hrane i odjeće; ona, dakle, narušava uvjete nužne za trajnu plodnost tla. Kapitalistička proizvodnja, dakle, razvija tehnologiju i spaja različite procese u društvenu cjelinu jedino uništavanjem prvotnog izvora sveg bogatstva – tla i radnika.<sup>157</sup>

Umjesto Zakona Entropije koji, uz dijelom smislenu jezgru, sadrži nekoliko fundamentalno pogrešnih elemenata koji ga čine pretjerano pesimističnim, za suočavanje s aktualnom ekološkom krizom potreban je manje deterministički pristup u čijem će fokusu biti negativne posljedice koje kapitalizam ima za svoju socijalnu i prirodnu bazu. I umjesto da se ustraje na tome da su klasni odnosi i uništavanje ekološke baze neminovni, treba pronalaziti rješenja koja će, preko borbe s njihovim istim izvorom – kapitalizmom, ukidati socijalne i ekonomske jazove te sprječavati daljnje pustošenje prirode. Ni fatalistički pesimizam ni naivni optimizam nisu za to prikladni stavovi.

---

<sup>155</sup> Za detaljniju analizu v. Stephen A. Resnick i Richard D. Wolff, *Class Theory and History. Capitalism and Communism in the USSR*, Routledge, New York i London, 2002.

<sup>156</sup> John Bellamy Foster, 'Late Soviet Ecology and the Planetary Crisis', *Monthly Review*, 1.6.2015., <https://monthlyreview.org/2015/06/01/late-soviet-ecology-and-the-planetary-crisis/> [pristup 14.2.2023.].

<sup>157</sup> Karl Marx, *Capital*, vol. 1, Foreign Languages Publishing House, 1963., str. 505-7.



## Zaključak. Prema dijalektici prirode

Recentna nastojanja oko rehabilitacije dijalektike prirode i dijalektičkog materijalizma kod autora kao što su Bellamy Foster, Adrian Johnston i Slavoj Žižek pokušaji su da se prirodi, naročito zbog konteksta ekološke krize, pristupi drugačije.<sup>158</sup> Ta rehabilitacija ima nekoliko povezanih žarišnih točaka. Jedna se nalazi u povratku Engelsovim djelima o prirodi, ponajprije *Dijalektici prirode*, koja je on, uz Marxovo slaganje, smatrao nastavljanjem njihovog zajedničkog projekta kritike kapitalizma. U drugoj se radi o ponovnom spajanju tzv. zapadnog marksizma s dijalektikom prirode. Jedan od glavnih osporavatelja mogućnosti dijalektike prirode bio je György Lukács. Njegova sljedeća tvrdnja iz *Povijesti i klasne svijesti* izvršila je, prema Bellamyju Fosteru,<sup>159</sup> presudan utjecaj u formiranju ‘zapadnog marksizma’:

[o]d primarne je važnosti da se shvati kako je [dijalektička, M. Č.] metoda ograničena na područja povijesti i društva. Pogrešna razumijevanja koja se javljaju iz Engelsova pristupa dijalektici mogu se u onom glavnom svesti na činjenicu da je Engels – slijedeći Hegelov pogrešan trag – proširio primjenu metode i na prirodu. Međutim, ključna obilježja dijalektike – međudjelovanje subjekta i objekta, jedinstvo teorije i prakse, historijske promjene u stvarnosti koje se nalaze u temelju kategorija kao glavnih uzroka promjena u misli itd. – odsutna su u našem znanju prirode.<sup>160</sup>

Treća žarišna točka tiče se spašavanja dijalektičkog materijalizma od vulgarnog političkog statusa koji je dobio kao službena filozofija Sovjetskog Saveza. Prema Žižeku, pogreška je tog dijalektičkog materijalizma što ‘u svom pokušaju da stvarnost podredi objektivnim zakonima zanemaruje velike intelektualne prevrate modernog razdoblja: naime, otkriće u filozofiji (Kantovo preko Descartesa) prema kojem struktura naše misli uvjetuje naše razumijevanje vanjskog svijeta i otkriće u psihoanalizi (Lacanovo preko Freuda) prema kojem se žudnja konstituira u opoziciji prema *nedostatku* koji nikad ne može na pravi način biti ispunjen.’<sup>161</sup> U vezi s time, ‘ako su ljudi određeni nerješivom napetošću između razuma i njegove pogrešivosti,

---

<sup>158</sup> V. John Bellamy Foster, *The Return of Nature. Socialism and Ecology*, Monthly Review Press, New York, 2020.; Adrian Johnston, *Prolegomena to Any Future Materialism. Vol. 2: A Weak Nature Alone*, Northwestern University Press, Evanston, Illinois, 2019.; Slavoj Žižek, *Absolute Recoil. Towards a New Foundation of Dialectical Materialism*, Verso, London i New York, 2014.

<sup>159</sup> John Bellamy Foster, ‘The Dialectics of Nature and Marxist Ecology’, u: Bertell Ollman i Tony Smith (ur.), *Dialectics for the New Century*, Palgrave Macmillan, New York, 2008, str. 50-83., ovdje str. 51.

<sup>160</sup> Georg Lukács, *History and Class Consciousness. Studies in Marxist Dialectics*, The MIT Press, Cambridge (MA), 1971., str. 24f6.

<sup>161</sup> Conrad Hamilton i Matt McManus, ‘In Defense of Slavoj Žižek’, *Jacobin*, <https://jacobin.com/2021/06/slavoj-zizek-leftist-philosophy-ideology-postmodernism-neoliberalism> [pristup 15.2.2023.].

između žudnje i nedostatka, to dokazuje da su oni *dio prirode*. Jer ako nam je suvremena znanost [ponajprije kvantna fizika, M. Č.] nešto pokazala, to je da je priroda puna nekonzistencija, kontingencija i napetosti. Ona je, drugim riječima, konstitutivno nepotpuna.<sup>162</sup> Kod posljednje, četvrte žarišne točke radi se o tome da se znanstveni odnos prema prirodi drugačije postavi, odnosno da se ima u vidu ‘potpuna međuovisnost ljudskih društvenih odnosa i ljudskih odnosa prema prirodi.’<sup>163</sup> Prirodne znanosti time ne bi bile usko specijalističke, već bi se temeljile na pretpostavci o međusobnom preplitanju i povezanosti u cjelinu, kao i na pretpostavci da znanja koja stvaraju imaju funkciju u širem – društvenom, političkom itd. – kontekstu.

Kada se uzme tema ovog rada, zakon entropije i aktualna ekološka kriza, zaključci iz nastojanja rehabilitacije dijalektike prirode također mogu biti primijenjeni. Pojam entropije uzet je, primjerice, kod Georgescu-Roegenaa dobrim dijelom na način vulgarnog dijalektičkog materijalizma – kao zakon koji fiksno određuje interakciju između čovjeka i prirode. Umjesto toga, toj bi interakciji, zajedno s ekološkom krizom kao događajem koji ju na jedan intenzivan način uokviruje, trebalo mnogo pažljivije pristupiti kako se pogrešnim razumijevanjem bilo prirodnih bilo društvenih znanosti ne bi upalo u različite oblike reduktivizma. Smatram da je dijalektika kao metoda za takav pažljiviji pristup i prikladna i sposobna, jer počiva na radikalnoj otvorenosti, dubinskom istraživanju veza između pojava i, naposljetku, na negativitetu koji je, u Marxovom i Engelsovom radu, iznjedrio zasigurno najsnažniju i najtemeljitiju kritiku kapitalizma i njegove destruktivnosti.

---

<sup>162</sup> Isto.

<sup>163</sup> Eleanor Leacock, ‘Introduction’, u: Friedrich Engels, *The Origin of the Family, Private Property and the State*, International Publishers, New York, 1972., str. 245-51., ovdje str. 245.

## Popis literature

Avery, John, *Information Theory and Evolution*, World Scientific Publishing Co., Singapur, 2003.

Ayres, Robert A., 'The Second Law, the Fourth Law, Recycling and Limits to Growth', *Ecological Economics*, 1999., vol. 29, Issue 3, str. 473-483.

Babbage, Charles, *On the Economy of Machinery and Manufactures*, Cambridge University Press, New York, 2010.

Bacon, Francis, 'Moć i posjedovanje', u: T. Krznar, *Čovjek i priroda. Prilog određivanju odnosa*, Pergamena, Zagreb, 2013., str. 67-74.

Bailey, Kenneth D., *Social Entropy Theory*, SUNY Press, New York, 1990.

Bataille, Georges, *The Accursed Share. An Essay on General Economy*, Zone Books, New York, 1988.

Bellamy Foster, John, 'The Dialectics of Nature and Marxist Ecology', u: Bertell Ollman i Tony Smith (ur.), *Dialectics for the New Century*, Palgrave Macmillan, New York, 2008, str. 50-83.

Bellamy Foster, John, 'Late Soviet Ecology and the Planetary Crisis', *Monthly Review*, 1.6.2015., <https://monthlyreview.org/2015/06/01/late-soviet-ecology-and-the-planetary-crisis/> [pristup 14.2.2023.]

Bellamy Foster, John, *The Return of Nature. Socialism and Ecology*, Monthly Review Press, New York, 2020.

Bellamy Foster, John, 'The Return of the Dialectics of Nature', *Historical Materialism* (2022), str. 1-26.

Bellamy Foster, John i Burkett, Paul, 'Classical Marxism and the Second Law of Thermodynamics', *Organization & Environment*, Vol. 21, No. 1, 2008., str. 3-37.

Bellamy Foster, John i Clark, Brett, 'The Capitalinian: The First Geological Age of the Anthropocene', *Monthly Review*, 1. rujan 2021., <https://monthlyreview.org/2021/09/01/the-capitalinian/> [pristup 12.2.2023.]

Bensaïd, Daniel, *Marx for Our Times. Adventures and Misadventures of a Critique*, Verso, London & New York, 2009.

Biel, Robert, *The Entropy of Capitalism*, Brill, Leiden & Boston, 2012.

Buchdahl, H. A., *The Concept of Classical Thermodynamics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1966.

Buller, Adrienne, *The Value of a Whale. On the Illusions of Green Capitalism*, Manchester University Press, Manchester, 2022.

Burkett, Paul, *Marxism and Ecological Economics. Toward a Red and Green Political Economy*, Brill, Leiden & Boston, 2006.

- Carnot, Sadi, *Reflections on the Motive Power of Heat*, John Wiley & Sons, New York, 1897.
- Clausius, Rudolf, 'On a Modified Form of the Second Fundamental Theorem in the Mechanical Theory of Heat', *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 4. 12 (77), 1856., str. 81-98.
- Clausius, Rudolf, 'Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie' ['O različitim i za primjenu prikladnim formama glavnih jednadžbi mehaničke teorije topline'], *Annalen der Physik und der Chemie*, vol. 125, 1865., str. 353-400.
- Cleveland, Cutler J. i Ruth, Matthias, 'When, Where and by How Much Do Biophysical Limits Constrain the Economic Process? A Survey of Nicholas Georgescu-Roegen's Contribution to Ecological Economics', *Ecological Economics*, 22, 1997., str. 203-223.
- Daggett, Cara New, *The Birth of Energy. Fossil Fuels, Thermodynamics, and the Politics of Work*, Duke University Press, Durham i London, 2019.
- Descartes, René, 'Gospodari i vlasnici prirode' (izvadak iz djela *Rasprava o metodi*, Nakladni zavod Matice hrvatske, Zagreb, 1951., str. 49-61.), u: T. Krznar, *Čovjek i priroda*, str. 57-66.
- Drake, Gordon W. F., 'Entropy', *Encyclopaedia Britannica*, <https://www.britannica.com/science/entropy-physics>. [pristup 27.12.2022.]
- Engels, Friedrich, *Dialectics of Nature. Notes and Fragments*, u: Karl Marx i Friedrich Engels, *Collected Works. Volume 25. Engels*, International, New York, 1975., str. 313-591.
- Engels, Friedrich, 'Uloga rada pri pretvaranju majmuna u čovjeka', u: *Glavni radovi Marxa i Engelsa*, prir. A. Dragičević, V. Mikecin i M. Nikić, Stvarnost, Zagreb, str. 1107-1115.
- Fukuyama, Francis, *The End of History and the Last Man*, Free Press, NYC, 1992.
- Georgescu-Roegen, Nicholas, *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Cambridge (MA), 1971.
- Georgescu-Roegen, Nicholas, 'Afterword', u: Jeremy Rifkin, *Entropy. A New World View*, The Viking Press, New York, 1980., str. 261-9.
- Gillett, Stephen L., 'Entropy and Its Misuse, I. Energy, Free and Otherwise', *Ecological Economics*, 56, 2006., str. 58-70.
- Gribbin, John, *Q Is for Quantum. An Encyclopedia of Particle Physics*, The Free Press, New York, 1998.
- Hamilton, Conrad i McManus, Matt, 'In Defense of Slavoj Žižek', *Jacobin*, <https://jacobin.com/2021/06/slavoj-zizek-leftist-philosophy-ideology-postmodernism-neoliberalism> [pristup 15.2.2023.]
- Hammond, Geoffrey P. i Winnett, Adrian B., 'The Influence of Thermodynamic Ideas on Ecological Economics: An Interdisciplinary Critique', *Sustainability*, 1, 2009., str. 1195-1225.
- Hanlon, Robert T., *Block by Block. The Historical and Theoretical Foundations of Thermodynamics*, Oxford University Press, Oxford, 2020.
- Hardin, Garrett, *Living with Limits. Ecology, Economics, and Population Taboos*, Oxford University Press, New York, 1993.

Heede, Richard, 'Tracing anthropogenic carbon dioxide and methane emissions to fossil fuel and cement producers, 1854–2010', *Climatic Change*, 122 (2014.), str. 229-241.

Hösle, Vittorio, *Filozofija ekološke krize*, Matica hrvatska, Zagreb, 1996.

Huber, Matt, "Green Capitalism" Is a Lie. Review of Adrienne Buller, *The Value of a Whale*', *Jacobin*, 19.10.2022., [https://jacobin.com/2022/10/green-capitalism-blackrock-climate-finance?fbclid=IwAR27o55ZTwnxJmoz5b2HyfLJUpqeBvVsOkJW\\_HnZexdLAXYCp4LoiCdSMnc](https://jacobin.com/2022/10/green-capitalism-blackrock-climate-finance?fbclid=IwAR27o55ZTwnxJmoz5b2HyfLJUpqeBvVsOkJW_HnZexdLAXYCp4LoiCdSMnc) [pristup 12.2.2023.]

Jaffe, Robert L. i Taylor, Washington, *The Physics of Energy*, Cambridge University Press, Cambridge, 2018.

Jessop, Simon, 'Drop in BlackRock's Support for Environmental, Social Resolutions', *Reuters*, 26.7.2022., <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/drop-blackrocks-support-environmental-social-resolutions-2022-07-26/> [pristup 12.2.2023]

Johnston, Adrian, *Prolegomena to Any Future Materialism. Vol. 2: A Weak Nature Alone*, Northwestern University Press, Evanston, Illinois, 2019.

Kåberger, Tomas i Månsson, Bengt, 'Entropy and Economic Processes – Physics Perspectives', *Ecological Economics*, 36, 2001., str. 165-179.

Kolakowski, Leszek, *Main Currents of Marxism. Its Origin, Growth, and Dissolution*, vol.3: *The Breakdown*, Clarendon Press, Oxford, 1978.

Krznar, Tomislav (ur.), *Čovjek i priroda. Prilog određivanju odnosa*, Pergamena, Zagreb, 2013.

Leacock, Eleanor, 'Introduction', u: Friedrich Engels, *The Origin of the Family, Private Property and the State*, International Publishers, New York, 1972., str. 245-251.

Lieb, Elliott H. i Yngvason, Jakob, 'The physics and mathematics of the second law of thermodynamics', *Physics Report*, Vol. 310 (1), ožujak 1999., str. 1-96.

Lukács, Georg, *History and Class Consciousness. Studies in Marxist Dialectics*, The MIT Press, Cambridge (MA), 1971.

Magie, William Francis, *A Source Book in Physics*, Harvard University Press, Cambridge (MA), 1963., str. 228-236.

Malm, Andreas, *Fossil Capital. The Rise of Steam Power and the Roots of Global Warming*, Verso, London i New York, 2016., epub

Maneschi, Andrea, 'The Filiation of Economic Ideas: Marx, Schumpeter, Georgescu-Roegen', *History of Economic Ideas*, vol. 14, no. 2, 2014., str. 105-25.

Maroney, Owen, 'Information Processing and Thermodynamic Entropy', *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/information-entropy/#StaMecSecLaw> [pristup: 25.9.2022.]

Martínez Alier, Joan, 'Social Metabolism and Environmental Conflicts', u: L. Panitch i C. Leys (ur.), *The Socialist Register, 2007: Coming to Terms with Nature*, Monthly Review Press, New York, str. 273-293.

Marx, Karl, *Capital*, vol. 1, Foreign Languages Publishing House, 1963.

- Marx, Karl, *Value, Price, and Profit*, International Publishers, New York, 1976.
- Marx, Karl i Engels, Friedrich, *Manifest komunističke partije*, u: *Glavni radovi Marxa i Engelsa*, prir. A. Dragičević, V. Mikecin i M. Nikić, Stvarnost, Zagreb, 1979.
- McNally, David, *Political Economy and the Rise of Capitalism. A Reinterpretation*, University of California Press, Berkeley, 1988.
- Mendoza, Eric, 'A sketch for a history of early thermodynamics', *Physics Today*, 14, 2 (1961), str. 32-42.
- Moore, Jason W. (ur.), *Anthropocene or Capitalocene? Nature, History, and the Crisis of Capitalism*, PM Press, Oakland (CA), 2016.
- Müller, Ingo, *A History of Thermodynamics. The Doctrine of Energy and Entropy*, Springer, Heidelberg, 2007.
- Newburgh, Ronald, 'Carnot to Clausius: caloric to entropy', *European Journal of Physics*, 30 (2009), str. 713-28.
- Oliveira, Agamenon R. E., *A History of the Work Concept. From Physics to Economics*, Springer, Dordrecht, 2014.
- Pistor, Katharina, 'The Myth of Green Capitalism', *Project Syndicate*, 21.9.2021., <https://www.project-syndicate.org/commentary/green-capitalism-myth-no-market-solution-to-climate-change-by-katharina-pistor-2021-09> [pristup 12.2.2023.]
- Resnick, Stephen A. i Wolff, Richard D., *Class Theory and History. Capitalism and Communism in the USSR*, Routledge, New York i London, 2002.
- Rifkin, Jeremy, *Entropy. A New World View*, The Viking Press, New York, 1980.
- Rogers Hummel, Jeffrey, 'Medieval World View in Modern Jargon. Review of *Entropy. A New World View*', *Reason*, 1981., str. 60-2.
- Schrödinger, Erwin, *What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell & Mind and Matter & Autobiographical Sketches*, Cambridge University Press, New York, 2013.
- Schwartzman, David, 'The Limits to Entropy: Continuing Misuse of Thermodynamics in Environmental and Marxist Theory', *Science & Society*, Vol. 72, No. 1, siječanj 2008., str. 43-62.
- Shannon, Calude E., 'A Mathematical Theory of Communication', *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27, srpanj i listopad 1948., str. 379-423, 623-658.
- Uffink, Jos, 'Bluff Your Way in the Second Law of Thermodynamics', *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 32 (3), str. 305-95.
- Warren, Karen J., 'Feminist Environmental Philosophy', *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2015., <https://plato.stanford.edu/entries/feminism-environmental/#SocPer> [pristup 5.2.2023.]
- Wilks, J., 'Introduction', u: isti, *The Third Law of Thermodynamics*, Oxford University Press, London, 1961.

Wiltgen, Richard J., 'Marx's and Engels's Conception of Malthus. The Heritage of a Critique', *Organization & Environment*, Vol. 11, No. 4 (1998), str. 451-460.

Žižek, Slavoj, *Absolute Recoil. Towards a New Foundation of Dialectical Materialism*, Verso, London i New York, 2014.