

# ENERGETSKE POTREBE ČLOVEŠTVA SKOZI ČAS

OD INDUSTRIJSKE REVOLUCIJE DO  
CIVILIZACIJE TIPA I

Marko Kovač

# **ENERGETSKE POTREBE ČLOVEŠTVA SKOZI ČAS: OD INDUSTRIJSKE REVOLUCIJE DO CIVILIZACIJE TIPA I**

Marko Kovač

Ljubljana 2021

PROSTOR, KRAJ, ČAS 19

## ENERGETSKE POTREBE ČLOVEŠTVA SKOZI ČAS: OD INDUSTRIJSKE REVOLUCIJE DO CIVILIZACIJE TIPA I

Marko Kovač

*Uredila:* Žiga Kokalj in Nataša Gregorič Bon  
*Recenzenta:* Mateja Breg Valjavec, Boštjan Rogelj  
*Lektorica:* Jana Kete Matičič  
*Oblikovanje in prelom:* Elektronika in založništvo Matej Kokalj s.p., Dob

*Izdajatelj:* ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije  
*Soizdajatelj:* Institut Jožef Stefan, Center za energetske učinkovitost  
*Za izdajatelja:* Ivan Šprajc  
*Založnik:* Založba ZRC  
*Za založnika:* Oto Luthar  
*Glavni urednik založbe:* Aleš Pogačnik  
*Tisk:* Birografika Bori, d. o. o.  
*Naklada:* 550 izvodov

Fotografsko gradivo je iz avtorjevega osebnega arhiva.

Knjiga je izšla s podporo Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, tudi prek razpisa za znanstvene monografije v letu 2021.

Prva izdaja, prvi natis.

Prva e-izdaja je pod pogoji licence Creative Commons CC BY 4.0 prosto dostopna:

<https://doi.org/10.3986/9789610505761>

---

CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

620.9  
502/504:620.9

KOVAČ, Marko, 1971-

Energetske potrebe človeštva skozi čas : od industrijske revolucije do civilizacije tipa I / Marko Kovač.  
- 1. izd., 1. natis. - Ljubljana : Založba ZRC, 2021. - (Prostor, kraj, čas / ZRC SAZU, ISSN 2712-2840 ; 19)

ISBN 978-961-05-0575-4  
COBISS.SI-ID 79468035

ISBN 978-961-05-0576-1 (pdf)  
COBISS.SI-ID 79472643

---

Marko Kovač

**ENERGETSKE POTREBE ČLOVEŠTVA SKOZI ČAS:**  
OD INDUSTRIJSKE REVOLUCIJE DO CIVILIZACIJE TIPA I



Založba ZRC



# ENERGETSKE POTREBE ČLOVEŠTVA SKOZI ČAS: OD INDUSTRIJSKE REVOLUCIJE DO CIVILIZACIJE TIPA I

Marko Kovač

## Izvleček

Pričujoča knjiga govori o energiji, predvsem o njeni globalni porabi ter vplivu na življenje. Energetske potrebe so izrazito dinamičen pojav in so zelo odvisne od tehnološkega razvoja. To se še posebej kaže skozi industrijske revolucije, v katerih novi izdelki in tehnologije prinašajo spremembe porabe energije. Obenem smo ponotranjili hiter gospodarski napredek in družbeni razvoj, ki sta v zadnjih desetletjih izboljševala kakovost življenja večini prebivalcev planeta in morda so pa prav zato energetske zahteve v zadnjem obdobju prerasle vse meje.

V zadnjih desetletjih smo doživeli razmeroma hitro povečevanje povprečne letne temperature, ki smo jo povezali z naraščanjem toplogrednih plinov v ozračju in s pretirano rabo fosilnih goriv. Pri tem smo namenoma ali ne zanemarili, da skrajne meje ne določa naša energetska blaznost, temveč jih je postavil sam planet v obliki čisto otipljivih fizikalnih omejitev.

Če bomo nadaljevali s takšnim tempom, nas čaka ne le nadaljnje segrevanje planeta, kar dela prebivalstva niti ne moti, temveč tudi porast gladine morja in s tem neposredna ogroženost obširnih nižje ležečih območij, obenem pa hitro povečevanje števila in posledic izjemnih vremenskih dogodkov, kot so viharji, dolgotrajna deževja in podobno. Navkljub jasni poti, ki zahteva hitro in precejšnje znižanje porabe vse energije ter takojšnjo radikalno odpoved fosilnim gorivom, je prehod vse prej kot lahek ali enostaven, tudi zaradi nespametnih verovanj, da so spremembe zgolj naključne in od človeka neodvisne.

Knjiga je zategadelj zastavljena kot faktografski pripomoček. V njej so objavljeni ključni podatki in grafikoni, ki kažejo, kako smo prišli do današnje stopnje razumevanja podnebnih sprememb, hkrati pa so navedene dodatne reference z obiljem informacij, s katerimi si kritični bralec lahko v današnjem svetu lažnih novic in glorificiranih neresnic pomaga ustvariti resničnejši vtis stanja sveta. Delo se navezuje na številne uradne vire, ki se med seboj neredko tudi razlikujejo, in jih skuša zdravorazumsko uskladiti.

**Ključne besede:** energija, okolje, podnebne spremembe, industrijska revolucija, fosilna goriva, obnovljivi viri

# **THE HISTORY OF ENERGY NEEDS: FROM THE INDUSTRIAL REVOLUTION TO TYPE I CIVILIZATION**

Marko Kovač

## **Abstract**

This book is about energy, in particular its global consumption and its impact on life on our planet. Energy demand is a very dynamic phenomenon and depends heavily on technological development. This is particularly evident in industrial revolutions, where new products and technologies lead to changes in energy consumption. At the same time, we have internalized much of the rapid economic progress triggered by the industrial revolutions and social development, which has improved the quality of life for most of the planet's inhabitants.

In recent decades, we have experienced a rapid increase in average annual temperature, which we associate with the rise in greenhouse gas concentrations in the atmosphere and the overuse of fossil fuels. In doing so, whether intentionally or not, we have neglected the fact that the limits are not set by our energy frenzy, but by the planet itself, in the form of quite tangible physical limits.

If we continue at this rate, we not only face the threat of further warming of the planet, which some of the population will not mind at all, but also rising sea levels, which pose a direct threat to vast, low-lying areas, as well as a rapid increase in the number and consequences of extreme weather events such as storms, prolonged rainfall, and the like. Although there is a clear path that requires rapid and significant reductions in overall energy consumption and an immediate radical shift away from fossil fuels, the transition is far from simple or straightforward, not least because of the foolish belief that change is purely accidental and beyond human control.

The book is intended as a source of information. It includes key data and charts showing how we have arrived at the current state of understanding of climate change, as well as additional references with a wealth of information to help the critical reader form a truthful picture of the state of the planet in today's world of Fake News and glorified falsehoods. The work draws on a range of official sources, many of which are contradictory, and attempts to reconcile them in a meaningful way.

**Key words:** energy, environment, climate change, industrial revolution, fossil fuel, renewables

## **Zahvala**

*Ob ustvarjanju te knjige sem se zavedel, da je pisanje kolektivni šport, pri čemer mi je tako ali drugače pomagalo precej ljudi. Nekateri so me bodrili, drugi me usmerjali na pravo pot, spet tretji skrbeli, da mi ne umanjka zanosu. Hvala vsem! Še posebej družini, zaradi izjemne spodbude in potrpežljivosti. Pa prijateljem in sodelavcem za zaupanje. In uredništvu, ki je kup mojih besed spravilo v koherentno branje.*

*Ali z besedami Davida Byrna, ki jih je zapisal na eno od prvih plošč, ki sem si jih kot mulc privoščil – »Thanks, this was fun.«*

Ljubljana, avgust 2021

M. K.

# VSEBINA

PREDGOVOR .....	8
1 UVOD .....	11
2. ENERGETSKE POTREBE SKOZI ZGODOVINO.....	19
2.1 Potrebe po energiji na osebo .....	19
2.2 Učinkovitost naprav .....	26
2.3 Delež fosilnih goriv .....	28
2.4 Vpliv bruto družbenega proizvoda (BDP) .....	30
2.5 Vpliv rasti prebivalstva .....	36
2.6 Pomembne energetske prelomnice.....	40
2.7 Poraba energije v sodobnem svetu.....	41
2.8 Poraba energije v prihodnje .....	43
3 ENERGIJA IN PODNEBNE SPREMEMBE .....	47
3.1 Podnebje in poraba energije.....	47
3.2 Res na hitro o podnebnih spremembah.....	48
3.3 Kratka zgodovina globalnega segrevanja.....	52
3.4 Cena podnebnih sprememb .....	59
3.5 Kaj je bilo prej: kura ali jajce, višja temperatura ali CO <sub>2</sub> ?.....	66
3.6 Kdo je kriv za povišano koncentracijo CO <sub>2</sub> ? .....	67
3.7 Kaj pa če je krivo Sonce? .....	68
3.8 Modeliranje zemeljske klime .....	70
3.9 Komu verjeti? .....	79
3.10 Koliko kilometrov je ena stopinja Celzija?.....	80
4 OMEJITVE RASTI SKOZI RAZPOLOŽLJIVO ENERGIJO.....	85
4.1 Lestvica Kardašova .....	87
4.2 Kardašov kot optimist.....	89
4.3 Podnebne spremembe kot Veliki filter razvoja (naše) civilizacije .....	93
5 SKLEP .....	99
5.1 Dodatno branje.....	102
6 SUMMARY .....	105
7 SEZNAMA SLIK IN PREGLEDNIC.....	108
8 BIBLIOGRAFIJA .....	111

# PREDGOVOR

Sedanja podnebna kriza ni ne prva in verjetno niti ne zadnja energetska kriza, s katero se sooča človeštvo. Toda za razliko od prejšnjih (na primer ozonske krize in krize kislega dežja) se ta dogaja v nadpovprečno povezanem svetu. Tehnologija, ki nam je na eni strani prinesla silno možnost hipnega komuniciranja s komerkoli, je na drugi strani navrgla, da lahko nefiltrirano prisluhnemo milijonom najrazličnejših mnenj. Vse lepo in prav, dokler ti glasovi temeljijo na vsaj osnovnem razmisleku in/ali logiki. Toda zgodilo se je ravno obratno, hiter in predvsem nepreverjen dostop do različnih virov je povzročil opazno potrditev Dunning-Krugerjevega učinka, kjer se besneče množice namesto s snežnimi kepami ali gnilim sadjem obmetavajo z lažnimi argumenti in še raje osebnimi žaljivkami. Pri tem je izginila še zadnja trohica spodobnosti sodobnih spletnih medijev, ki namesto družbene odgovornosti v vse večji in večji meri iščejo le še golo in hipno pozornost. Tako so kontroverzna, butasta, a tudi morbidno vabljiva sporočila, ki jih lahko vidi in nato tudi širi čisto vsak, naredila našo debato o prihodnosti še posebej strupeno. Oziroma, če nekolikanj parafraziram priljubljen izrek: »Kaj ti bo šola, če pa imaš doktorat iz YouTuba | Facebooka | Twitterja [obkroži poljubno].«

Debate o povezavi energije in ekologije so tako prerasle v kričanja že prepričanih, kjer se vsaka stran oborožuje s kopico številčk, ki jim le težko rečemo podatki, in nepreverjenimi analizami. Hkrati taisti pridigarji nimajo ali nočejo uporabiti osnovnošolskega znanstvenega ali matematičnega pristopa za preverjanje uporabljenih predpostavk, pri čemer se vehementno izgovarjajo na zdravo kmečko pamet, ki pravzaprav nima nič skupnega ne z (umskim) zdravjem, ne s kmeti in še manj s pametjo.

Čeprav se zdi, da je najenostavnejše zdravilo striktno uvajanje internetne policije, cenzure ali celo prepovedi, pa je konstruktivnejši (česarvno nekolikanj idealističen) pristop tudi zbiranje in kakovostna analiza razpoložljivih podatkov ter posredovanje



zaključkov širši javnosti. Navkljub temu, da so številne spletne strani na voljo kot vir kakovostnih informacij, pa je težava, da so običajno predstavljene v obliki instantnih pamfletov ali pa poglobljenih znanstvenih člankov oziroma poročil, ki pa niso ravno najlažje branje za laične široke množice (le prvi del 6. preglednega poročila IPCC obsega prek 1000 strani). Poleg tega je pregled literature v slovenščini našel le prgišče knjig, ki se ukvarjajo z navezo koriščenja energije in vpliva na podnebne spremembe. Prevedena *Trajnostna energija* pokojnega Davida MacKaya je tako že nekoliko starejšega datuma (in tudi ne čisto brez kritike), Plan B Boštjana Videmška pa je sicer opisno zelo bogata knjiga o novih tehnologijah, toda s pomanjkanjem celovitega tehničnega pregleda. Tudi Lučka Bogataj je o problematiki napisala le par otroških knjig, in čeravno se neredko ob podnebni krizi obnašamo kot otroci, vseeno menim, da potrebujemo bolj poglobljeno branje.

V knjigi sem se povečini omejil le na razlago preteklih dogajanj – na podajanje informacij, kaj vse in v kolikšni meri je prispevalo k današnji porabi energije in kaj to pomeni (prvenstveno za podnebne spremembe). Tako zbrani zapiski ne ponujajo neposrednih odgovorov, kakšni naj bodo naši koraki v energetsko in podnebno prihodnost. Nekateri bralci bodo morda zaradi pomanjkanja pridiganja tudi razočarani, a sam menim, da smo ljudje odgovorna bitja, ki znamo dobro oceniti razpoložljive informacije. V knjigi tako navajam nekaj načinov za njihovo presojanje, vzdržim pa se dokončnih odgovorov, tudi zato, ker se ti spreminjajo tako z razvojem tehnologij kot tudi z globino razumevanja problema.

Nadaljnje ukrepe sem nalašč prepustil bralcem, v moji naivnosti tudi zato, da bi bilo odločanje o prihodnosti podobno demokratičnim debatam v antični Grčiji, kjer so se meščani (takrat na žalost le bogati meščani moškega spola) enkrat tedensko dobili na javnem forumu, da so debatirali o javnih zadevah (grška beseda politika pomeni prav mestne (t. j. javne) zadeve). Pri pisanju smo se tudi zato zelo trudili, da je besedilo berljivo in primerno za splošno javnost in ne (le) za vrhunske strokovnjake.

Upam, da bodo v tej knjigi zbrane informacije pomagale k boljšemu dojetanju podnebne krize in z njo povezanih energetskih razmer(ij). In vsaj z zgledom pomagale pri kakovostnejši debati in kreiranju boljših energetskih odločitev.

Marko Kovač

Ljubljana, 1. avgust 2021



*Mesta so veliki porabniki energije. Celotno mesto New York letno porabi 51 TWh električne energije. A ker je mesto zelo zgoščeno, je relativna poraba na prebivalca za 10 % manjša kot v Sloveniji.*

# 1

## UVOD

Energija je prav zares gibalo našega sveta. Brez energije se nam ne da niti zjutraj iz postelje, a tudi energija v čisto tehnološkem smislu je potrebna, da se prijetno stuširamo s toplo vodo, skuhamo jutranjo kavo ali zajtrk, se odpravimo v šolo ali službo in podobno. Tudi čez dan niso naše potrebe po energiji nič manjše, na temen oblačen dan si prižgemo luči, morda delamo za računalnikom ali pa nadzorujemo velik stroj, ki pridno bruha izdelke. Vse to potrebuje takšno ali drugačno energijo.

Hkrati je energija tudi ena od nadvse uporabnih in uporabljenih besed, sploh v sodobnem svetu. In čeprav je njena definicija strašno preprosta – *sposobnost človeka ali naprave, da opravi delo* – pa samo zgornji primeri kažejo na njeno večpomenskost. Še več, ko sem na spletu brskal po zgodovini energije, sem se spomnil starejšega grafita iz bog-ve-kje, ki se je glasil nekako takole: »Kisik so izumili šele v 18. stoletju. Kdo ve, kako so dihali pred tem?« Podobno bi lahko rekli za energijo, čeprav je beseda energija po nastanku veliko starejša od besede kisik. Besedo je prvič uporabil slavni grški filozof Aristotel v četrtem stoletju pred našim štetjem, a vendar je trajalo dobri dve tisočletji, da je beseda začela pridobivati natančnejšo opredelitev. V 18. stoletju jo je Leibnitz, slavni fizik tistega časa, ob podpori markize Émilie du Châtelet definiral kot kinetično energijo (sočasna Newtonova definicija je bila kasneje prevedena v gibalno količino). Šele desetletja kasneje, na začetku 19. stoletja, je beseda energija skozi delo angleškega vsestranskega znanstvenika Thomasa Younga dobila današnji fizikalni pomen. Tako bi lahko rekli, da je energija skozi prvo industrijsko revolucijo poganjala takratne stroje z razmeroma skromnim vedenjem, kaj ta pojem sploh je.

Ne bom tajil, čarobnost energije in njene sposobnosti omogočanja marsičesa malodane neverjetnega, so očarale tudi mene. Že kot mali paglavec sem tekkel po dvorišču z maketo potniškega letala Caravelle v roki in pri tem oponašal zvok letalskih

motorjev. V realnosti so prav motorji kemično energijo goriva spreminjali v kinetično energijo lopatic turbine, te pa v kinetično energijo izpuha in ta spet v kinetično in potencialno energijo letala. Spomnim se tudi dveh tovornjakov, s katerima sem se spuščal po klancu – modernega črno-zelenega plastičnega mercedesa in starejšega kamiona nedoločljivih oblik in znamke, ki mi ga je izdelal in predvsem venomer popravljaj moj pradedek. Primer drsenja ali vožnje predmeta po klancu je še danes primer osnovne pretvorbe potencialne energije v kinetično, takrat pa se mi je zdelo še mnogo več.

Energija in tehnologija sta zame zelo povezani. Tako sem si ob vsakem početju želel globljega razumevanja delovanja naprav in sistemov. Najbrž k temu spada razdiranje številnih koles vse do osnovnih delov, seveda na račun živcev mojih staršev, še posebej ker uspeh ponovnega sestavljanja ni bil ravno zagotovljen. Kot kak grški filozof izpred poltretjega tisočletja sem poskušal razumeti delovanje reči z vpogledom v njeno drobovje (lahko bi rekli, da so z vpogledom v drobovje začeli že starodavni vrači, in s tem obsodili na smrt veliko nič hudega slutečih kokoši, če parafraziram meni ljubi strip Asteriks). Skozi številna razdiranja in ponovna sestavljanja sem se naučil, kako povezati vijak z ustreznim ključem, pri čemer je bil uspeh merjen kar s hitrostjo in ne toliko kvaliteto popravila. Še kasneje so na kolesu sledile izboljšave, boljše zavore, trše in manj drseče gume, precejšnje olajšanje teže kolesa (vsaj v očeh najstnika) nepotrebnih delov in podobno. Težko bi trdil, da sem (bil) nadnaraven talent. Pozabljena nezategnjena matica in napačno obrnjene zavorne gumice, ki jih je že prvo resnejše zaviranje katapultiralo v bližnje grmovje, so terjale svoj davek, a kaj ko se to pri hitrosti kolesa ni kaj prida poznalo. Še nekolikanj kasneje sem prešel na elektriko in starše jezil ter jim povzročal sive lase z občasnimi kratkimi stiki. Takšne in podobne izkušnje verjetno tvorijo inženirski pogled na svet, ki implicira, da se da s pravim orodjem rešiti malodane vse probleme.

Ta pogled je v marsičem posledica silovitega tehnološkega razvoja zadnjih stoletij, ki je dodobra spremenil in tudi olajšal naša življenja. Razvoj je razviden na malodane vsakem področju. Če bi danes v življenje obudili osebo, vajeno bivanja okoli leta 1700 v Angliji ali celo kako stoletje kasneje marsikje drugje, bi bila dodobra presenečena in to ne le zaradi kratenja večnega spanca. Zbujena oseba bi bila začudena nad osebnimi udobnostmi, kot je spanje na vzmetnici in izplakovanje stanišč, kot so električne luči in druge naprave, in nad splošnim načinom življenja, kot je bivanje v večnadstropnih stolpnih megamest, prevažanje z raznovrstnimi jeklenimi konjički, tako na zemlji kot po vodi in zraku. Zdi se, da tehnološki razvoj tako rekoč nima omejitev. Vendar je tak občutek lahko napačen. Že prgišče rekov nakazuje, da tehnologija ni vsemogoča. Najljubša sta mi: *Ne na silo, uporabi večje*

*kladivo in Človeku s kladivom se zdi vsak problem kot žebelj.* Vsaj za slednjega lahko rečem, da je še kako resničen in v moji inženirsko-znanstveni praksi tudi precej preizkušen. Podobni, čeravno nekoliko šaljivi so tudi popularni zgodovinski opisi neskončno kompleksnih pojavov oziroma reči, ki pa so dojemljivi le z nekoliko drugačnim pogledom na problem, pri čemer segajo več kot dve tisočletji v preteklost pa vse do nekaj stoletij v prihodnost, na primer Gordijski voz (Andrews 2016), Kolumbovo jajce (Benzoni 1565) in Kobayashi Maru (Stemwedel 2015).

Če k temu naboru prištejemo še resnejše razmisleke o napravah za teleportacijo, časovne in neskončne stroje (perpetuum mobile) ter podobne nemogoče ideje, je to morda dokaz, da je tehnologija vseeno omejena, ne glede na silovit razvoj v zadnjih desetletjih. Prevlada znanosti in tehnologije kot zapriseženih globalnih sil je v zadnjih stoletjih fascinirala družbene sisteme in tako je njun način delovanja z jasno izbiro zmagovalne ideje in zanemarjanjem ostalih pogledov postal prevladujoč tudi v ekonomiji in družbeni ureditvi. Nihče pa se pri tem ni spraševal o posledicah ali vsaj dvomu o dobrohotnosti njunih namer. Ni naključje, da je ravno v sedanjem času zveza tehnološkega razvoja in družbenega gospodarskega (neo)liberalizma tako popularna.

Resda je tehnologija s prevzemanjem najtežjih in ponavljajočih se opravil omogočila, da je bivanje na svetu postalo lažje in plodovito<sup>1</sup>, toda v zadnjih desetletjih je vidno, da tehnološki napredek neselektivno najbolj izkoriščajo prav najmočnejše ekonomske elite (Mirchandani 2012). Slednje napredek uporabljajo za zmanjševanja vpliva številnih delovnih mest klasične industrijske proizvodnje bodisi s selitvijo le-teh v stroškovno ugodnejše predele sveta bodisi z nadomeščanjem z avtomatskimi (robotskimi) sistemi. Posledica tega je ne le slabitev srednjega razreda razvitih držav, ustrezno solidnih delovnih mest in s tem povezane blaginje prebivalstva, temveč tudi razgradnja prepričanja v znanost kot ene od temeljnih metod spodbujanja napredka (Blyth 2019).

Sociologi starega kova so na znanost in tehnologijo še pred desetletji gledali nezaupljivo. Moore je tako precej kritičen do tehnoloških prebojev v sodobni družbi (Moore 1989). Po njegovem namreč tehnologija omogoča ideologiji, da prodre v vsakodnevno življenje, ideologija pa vrača uslugo tako, da služi legitimnosti tehnologije ali vsaj opravičevanju le-te. S takšnim vzajemnim povezovanjem se na

---

<sup>1</sup> Izrazito navdihujoče je predavanje pokojnega švedskega zdravnika in strokovnjaka za zdravstveno statistiko dr. Hansa Roslinga o vlogi pralnega stroja ne le na povečanje prostega časa žensk, temveč tudi na njihovo izobrazbo ter tudi rast prebivalstva (Rosling 2010). Dodatne informacije pa so na voljo v njegovi knjigi Factfulness (Rosling in dr. 2020).



dolgi rok spremeni odnos ljudi do tehnologije, ki postane bolj sprejemljiva, hkrati pa večina ljudi tehnologijo per se dojema kot pozitivno silo, za kar se je celo uveljavil izraz *ameriška ideologija*. Kasneje, s še večjim tehnološkim potiskom, to postane lahko celo tehnokracija, kar morda pojasnjuje dandanašnje očaranost nad tehnološkimi rešitvami banalnih problemov (Chant 1989). Pri temu niti znanost niti tehnologija nista samostojni in sta v mnogočem odvisni od kulturne podstati. Za nedavni preobrat, po katerem je tehnologija postala brezpogojno sprejemljiva ali pa nas je celo tehnološko navdušila, je težko kriviti le zunanje vplive. Na strah pred drugo »kulturo« je namreč že daleč pred tem opozarjal (Snow 1959), ki je videl intelektualno življenje celotne zahodne družbe duhovno razdeljeno na dve kulturi – naravoslovje in tehniko ter družboslovje oziroma humanistiko z le redko interaktivnostjo med njima.

A opravičevalci vloge tehnologije v sodobni ekonomiji (Pessimism v progress 2019; Damijan 2019) opozarjajo, da sedanjega razvoja brez tehnologije pač ni. Še več, današnje temeljne razvojno-ekonomске dileme se premnogokrat ignorirajo, češ da bo te dileme nekoč v bodočnosti rešila tehnologija skozi novo izumljene obvođe (Mühleisen 2018; Strohmaier in dr. 2019). A v zadnjih desetletjih dozoreva spoznanje, da človeštvo s planetom, na katerem živi, ravna precej brezskrbno, da ne rečemo neumno. Okoljevarstvena naprežanja, ki so se najprej zgrinjala okoli lokalnih problematik, kot so bila nevarna onesnaževanja posameznih tovarn, nevarna odlagališča, izpusti in podobno, so se počasi združila v enovito gibanje (Muralikumar 2019).

Tudi zato bi rad to zgodbo o energiji in silnem razvoju tehnologije navezal na posledice, ki jih naše pretiravanje prinaša. Podnebne spremembe so tako izredno pereča energetska, okoljska in tudi politična tema, ki lepo odslikuje zgornje teze o tehnološki vzvišenosti. Zavedam se, da je o tem že veliko povedanega, še veliko več bo v prihodnje in tudi mnenja morda nikoli ne bodo čisto enotna, pa ne le zaradi osebnih ali političnih preferenc vsakega posameznika, temveč tudi zaradi nemoči znanosti, da kompleksne probleme prevede na vsem razumljivo enoštevilično oceno. Na žalost ta nezmožnost daje dovolj prostora naracijam, ki obljublajo nemogoče in se pri tem sklicujejo na morebitne katastrofe, zarote in podobne, še precej bolj kontroverzne teme.

Človeški vzrok podnebnih sprememb je po eni strani tako pereča politična tema, na drugi strani pa precej kompleksen znanstveni model obnašanja zemeljske atmosfere. Zaradi politične volatilitnosti se sicer nekaterim zdi, da je znanstveni del zgolj lepotni privesek, ki le opravičuje sredstvo. Resda je bila v preteklosti znanost (ali

še raje psevdoznanost, Hansson 2021) izkoriščana za doseganje zavrženih ciljev, a tak argument ne more vplivati na nedvomno kakovost izsledkov o podnebnih spremembah. Prav tako je bila podnebna znanost v svoji burni zgodovini podvržena številnim presojam, ki so le z redkimi izjemami potrdile tako obstoj sprememb in njihove človeške vzroke. Redka odklonilna mnenja pa so se doslej izkazala ali za nerazumevanje ali za poskuse nekvalitetnih psevdo-znanstvenih raziskav.

Ob tem se je treba zavedati, da podnebne spremembe niso edina globalna grožnja človeštva, prav nič manj strašljive niso druge večje okoljske katastrofe in tehnološke nesreče ter globalno vojskovanje. Sem lahko prištejemo tudi prgišče drugih tematik: izčrpavanje materialnih virov in naraščanje prebivalstva. Med grožnjami nečloveškega izvora Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) navaja različne nevarnosti iz vesolja, na primer med filmskimi ustvarjalci zelo popularna, a le malo verjetna nezemeljska invazija, padec asteroida, pandemije (podobne tej, ki smo ji bili priča v letu 2020, ravno v času pisanja te knjige), izbruh (super)vulkana in naravne podnebne spremembe (World Health Organization 2019). Podnebne spremembe so globalne, saj zajemajo ves planet. Resda ne vse dele enako in v isti meri, nekateri deli bodo bolj, drugi manj prizadeti, a posledice so in še bodo globalno opazne.

Hkrati pa so posledice podnebnih sprememb tudi zelo oddaljene. Večina govori o kritičnem letu 2050, drugi celo o 2100, kar je za večino nepojmljivo daleč. Hkrati kompleksnost podnebnih sprememb – na srečo ali žalost – onemogoča, da bi le en človek bdel nad vsemi podatki ter tako usmerjal raziskavo. Tako imamo na eni strani kar nekaj znanstvenikov s širokim pogledom, a hkrati omejenim poznavanjem vseh detajlov, na drugi strani pa specializirane znanstvenike prav za določene mehanizme, ki pa jih celotna slika morda niti ne zanima. Osebnostno sem nekje vmes in temu bo sledila tudi ta knjiga. Nekaj splošnih znanj o podnebnih spremembah sem pridobil tudi kot udeleženec ene od Konferenc pogodbenic (ang. *Conference of Parties* ali s kratico COP). Šesta konferenca COP (COP 6) je med 13. in 25. novembrom 2000 potekala v nizozemskem Haagu, pri čemer je na konferenci sprva pozitivno vzdušje hitro upadlo in se razvleklo v poganjanja glede barantanja s koristmi (Kovač 2000a; Kovač 2000b). Naj še dodam, da me kot tehnološkega navdušenca zanima interakcija z ljudmi in konec koncev tudi s planetom. Hkrati pa se z energetiko oziroma energijo v takšni ali drugačni obliki bavim že vse svoje profesionalno življenje.

Namen knjige je predstaviti hitre in predvsem korenite spremembe pri izrabi energije, ki so se zgodile obdobju industrijskih revolucij v zadnjih 300 letih. Pred tem so energetske aktivnosti temeljile pretežno na izkoriščanju obnovljivih virov –

biomase, vodne in vetrne energije. Z industrijsko revolucijo pa so prišle nove in predvsem velike potrebe po energiji, pri čemer so zaradi enostavnejše in cenejše uporabe prednjačila fosilna goriva, najprej premog, nato nafta in plin. Industrijske revolucije pa so hkrati prinesle tudi dobrobiti v življenja ljudi, povečini povezane s tehnološkim napredkom in visoko gospodarsko rastjo (resda dostikrat na račun vpliva na okolje). Napredek je hkrati spodbudil širjenje prebivalstva, ki je spet potrebovalo več in več energije in tako smo padli v začaran krog, ki se končuje z nekaj stokrat večjo porabo fosilnih goriv kot pred 300 leti in ustreznim kvarnim vplivom na okolje. Po mojem mnenju prav vpliv na okolje določa krajne meje rasti, saj naravni polori že dolgo več ne omogočajo omejevanja rasti koncentracije toplogrednih plinov v ozračju. Boj proti podnebnim spremembam ali vsaj blažitev le-teh pa bo zahteval še kar nekaj znanstvenih raziskav in predvsem idej. Predstavljeni podatki so namenjeni hitri oceni stanja, pri čemer sem se povečini omejil na podatke o energiji. Povezavo s podrobnimi klimatološkimi podatki pa sem prepustil strokovnjakom na tem področju.

Poseben problem razumevanja podnebnih sprememb je tudi ogromna količina podatkov, ki zajema nepredstavljive številke: milijarde ton CO<sub>2</sub> tu, TWh električne energije tam. Naši možgani pa enostavno niso narejeni za tako gromozanske številke. Eden od ciljev te knjige je tudi ustrezen oris teh števil, bodisi skozi ustrezne primerjave in anekdotične podatke bodisi skozi številne grafe ter zanimive statistične analize. Pričujoča knjiga zatorej poudarja energetske pogled na podnebne spremembe – koliko energije človeštvo na tem planetu pravzaprav potrebuje in kako smo z očaranostjo nad lahkotnostjo tehnologije za pridobivanje energije prišli do zgoraj omenjenih količin ter kje pravzaprav so meje. Zakaj je energijska bilanca pomembna in kaj se dogaja, če bilanca ni v ravnovesju? Samih mej se namreč vse premalo zavedamo, kar je dvorezen meč – probleme namreč rešujemo preveč ihtavo ali premalo angažirano. Tako je postalo vprašanje pretirane rabe energije in fosilnih goriv eden izmed perečih problemov današnjega časa, ki prispeva k podnebnim spremembam, še posebej ker so premiki relativno majhni, hkrati pa se ne zavedamo resnosti (in tudi cene) predvidenih posledic. Energija, ki jo človeštvo uporablja za doseg svojih ciljev, povzroča izpuste toplogrednih plinov, prav tako pa onesnažuje zrak, zemljo in vodo. In prav zaradi tega paradoksa je treba natančno slediti porabi energije oziroma potrebam po njej.

Knjiga je razdeljena na nekaj smiselno zaokroženih poglavij. V prvem poglavju govorim o razvoju energetskih potreb skozi človeško zgodovino, od pradavnine do danes, pri čemer opazujem tako vpliv števila prebivalcev kot tudi gospodarske blaginje. Seveda je večja pozornost namenjena zadnjim stoletjem, ko so potrebe po

energiji postale zares enormne. V drugem poglavju povežem porabo energije z vplivom na okolje – podnebnimi spremembami. Pri tem je smiselno navesti osnovne pojme – energetska bilanca in zgodovino (odkrivanja) globalnega segrevanja oziroma podnebnih sprememb. Tretje poglavje predstavlja znanstven pogled na nekatere mite, da za segrevanje ni kriv človek, da so podatki netočni in podobno. Četrto poglavje pa se ukvarja z omejitvijo rasti, spet v navezi s količino energije, ter morebiten vpogled v tuje svetove.

Ker je besedilo posledica dolgoletnega tudi ljubiteljskega ukvarjanja s povezavo energije in okolja, je v besedilu veliko referenc tako na članke kot tudi knjige in poročila. Obširen seznam le-teh je podan na koncu, kar omogoča hitro preverjanje podatkov in/ali sledenje ideji v nadaljnjih knjigah ali virih. Poleg tega sem dodal tudi nekaj opomb ali komentarjev, ki pa se zaradi navezave na določeno temo ali vsaj miljé nahajajo v opombah, na dnu strani. Le upam lahko, da na ta način nisem preveč posegel v rdečo nit misli.



*Edinburg – prestolnica Škotske – vsaj po videzu bolj sodi v svet Harryja Potterja kot v sodobno zgodovino. A Škotska je hkrati dala tudi številne znanstvenike in inženirje, ki so v zadnjem poltretjem stoletju tvorno prispevali prav k vsem industrijskim revolucijam.*



## 2.

# ENERGETSKE POTREBE SKOZI ZGODOVINO

Že Konfucij je dejal, da je potrebno proučevati preteklost, da bi lahko ustvarili prihodnost. A tudi brez tega citata si lahko mislimo, da so energetske potrebe precej dinamične in odvisne od številnih vplivov, ne le zgodovinskih, in nekaj si jih bomo tudi поблиže ogledali.

### 2.1 Potrebe po energiji na osebo

Za opravljanje osnovnih življenjskih funkcij človeško telo potrebuje energijo, ki jo v telo vnašamo pretežno s hrano. Zato je pregled energetskih potreb smiselno pričeti pri nas samih: sodobni ljudje za osnovne življenjske funkcije porabimo nekje med 1800 in 2500 kcal<sup>2</sup> dnevno (v povprečju 2000 kcal oziroma približno 8,4 MJ/d), odvisno od starosti in spola (Smil 2018; Rhodes 2018). Če to energijo pretvorimo v konstantno moč<sup>3</sup>, dobimo slabih 97 W. Če upoštevamo, da so bili naši prapredniki precej manjši od nas in so v mirovanju potrebovali nekaj manj energije, se zdi ocena, da so ljudje že ob koncu ledenih dob potrebovali povprečno moč nekje 100 W (to vključuje tudi energijo za lovljenje plena), kar pravšnja.

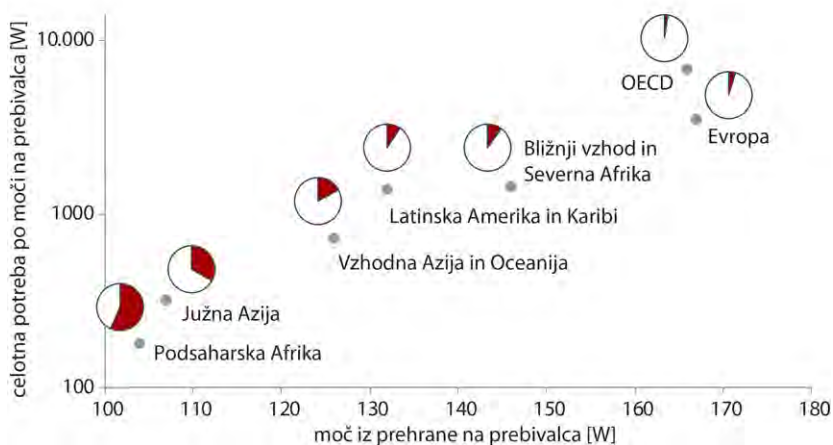
---

<sup>2</sup> Kalorija (kcal) je enota energije, ki je določena kot energija potrebna, da 1 g vode segrejemo za 1 °C. Analogija velja za 1 kcal, ki je enaka energiji pri segrevanju 1 kg vode za 1 °C. Ob tem pa je potrebno opozoriti, da predvsem v ameriški laični javnosti kcal radi nadomestijo s svojo »veliko kalorijo« (ang. Calorie), kar lahko v hitre preračune vnaša dobršno zmedo.

<sup>3</sup> 1 kcal znaša 4184 J. 2000 kcal tako znese 8,368 MJ. Konstantni energijski tok oziroma moč tako znaša:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{8,368 \text{ MJ}}{86.400 \text{ s}} = 96,85 \text{ W}$$

Dnevni vnos energije na osebo s prehrano v primerjavi s skupno porabo energije na osebo za različno razvite predele sveta prikazuje slika 1. Prikazan je tudi energetski delež prehrane v skupni porabi. Del viška energije, ki si ga lahko privoščijo prebivalci razvitejših predelov, gre tudi v energetsko bolj bogato hrano (tudi prek 3000 kcal na dan), kar morda deloma pojasni problem debelosti v razvitem svetu. Večino viška proizvedene energije v ekonomsko razvitejših predelih sveta pa ne gre za zagotavljanje naših osnovnih potreb, temveč za produkcijo drugih dobrin (Stout 1990; FAO 2000). Ob tem se je potrebno vprašati, ali je ta dodatna energija učinkovito porabljena, saj skupna osebna poraba energije v razvitem svetu za več kot 40-krat presega osebne energetske potrebe. V času antičnega Rima bi si ta presežek lahko predstavljali tako, kot da za nas dela še dodatnih 40 sužnjev. Toda v sodobni stvarnosti nimamo občutka, da smo razvajeni starorimski senatorji, sploh ne v ponedeljek zjutraj, ko je spet treba iti v službo. Že to nam dokazuje, da našo energijo tratimo na napačnih koncih.



Slika 1: Moč, pridobljena iz prehrane (vodoravna os), in celotna moč na tipično osebo iz sedmih predelov sveta (navpična os). Krožni diagrami predstavljajo delež prehrane v skupni energijski bilanci (Stout 1990; FAO 2000).

Pomembnosti energije so se (pra)ljudje verjetno zavedali v trenutku, ko so iznašli oziroma odkrili ogenj. Sprva so se ognja bali, a kmalu so ugotovili, da lahko ogenj uporabljajo za različne namene. Ogenj je zagotavljal toploto in svetlobo ter ponoči zadrževal divje živali. Ogenj je bil koristen tudi pri lovu, lovci z baklami so lahko čredo živali nagnali čez rob pečine. Praljudje so se kmalu naučil tudi, da je hrana, pečena na ognju, boljšega okusa in lažja za uživanje. Sprva niso poznali načina, kako zanetiti ogenj, temveč so ogenj, ki so ga našli v naravi, skrbno varovali. Najzgodnejši dokazi,

najdeni v Swartkransu v Južni Afriki, v Chesowanji v Keniji in kraju Terra Amata v Franciji (Toth in Schick 1986), pa kažejo, da so ogenj prvič uporabili v kamnitih ognjiščih pred približno 1,5 milijonom let. Naučiti se krotiti in uporabljati ogenj se je izkazalo za neprecenljiv tehnološki napredek v človekovem razvoju.

Ognju so se mnogo kasneje pridružila prva kamena orodja. Najstarejša najdena kamena orodja so stara med 25.000 in 50.000 let, pri čemer prevladujejo bodala in kopja za lov, ročne sekire ter strgala za čiščenje živalskih kož. Izdelava kamenih orodij je pretežno slonela na energiji dobrega orodjarja, a že prva kovinska orodja (bakrena doba, od nekje 5000 pr. n. št. dalje) so pri predelavi kovine zahtevala veliko več energije in zato boljše upravljanje z ognjem.

Napredek v izkoriščanju energije za izdelavo orodij je privedel do napredka v kmetijstvu. Ljudje so lahko prenehali z nomadskim življenjem in se osredotočili na kmetijsko pridelavo živil. Ob tem so lahko udomačili živali in jih uporabljali za delo na poljih ipd., kar je dodatno dvignilo nivo razpoložljive energije (Penna 2019).

Z že omenjeno iznajdbo orodja je sledila zelo zanimiva sprememba, in sicer ljudje smo iz lovsko-nabiralniške družbe prešli v poljedelsko kulturo. Znanstvenike pri tem bega sinhronost tega dogajanja po vsem svetu. Še pred približno 13.000 leti so vsi naši predniki bivali v lovsko-nabiralnih družbah (Dirt 2008), le nekaj tisočletij kasneje, pred 7000 leti, pa so naši predniki povečini živeli v takšnih ali drugačnih poljedelskih skupnostih, še kakšno tisočletje kasneje pa je bila udomačena večina današnjih domačih živali (Bulliet in dr. 2008). Čeprav miti in legende navajajo, da so praljudje lovili predvsem večje živali (npr. mamute in jelene), pa so v resnici v pomanjkanju primernejšega marsikdaj jedli tudi beljakovinsko bogate žuželke in crkovino (Driver 2020). Prehod v poljedelsko kulturo se je na vseh celinah zgodil razmeroma sočasno. Nekaj tisočletij kasneje so nekatera od teh območij (npr. severna Kitajska, Indijska podcelina in ozemlja rodovitnega polmeseca v Aziji) postala središča prvih civilizacij.

Strokovnjaki menijo, da je ta poglobljena sprememba v življenju nastala kot posledica enega ali več naslednjih dejavnikov:

- Podnebne spremembe so morda spremenile vremenske vzorce tako, da se ni bilo mogoče več zanašati na vire divje hrane.
- Resda počasno povečevanje prebivalstva je morda zahtevalo več hrane, ki pa jo je lahko zagotovilo le kmetovanje, četudi je za to bilo potrebno več časa in energije. Prekomeren ulov je povzročil (vsaj lokalno) izumiranje tozadevno najbolj privlačnih živalskih vrst, kar je oteževalo učinkovit lov.
- Kot pomemben prispevek k razvoju kmetovanja pa je potrebno omeniti tudi pojav udomačitve semen, ki so olajšala kmetovanje.

Ne glede na vse, pa ta prehod ni bil enostaven. Podatki o velikosti ljudi kažejo, da se je kar nekaj tisočletij po prehodu povprečna velikost ljudi zmanjševala (pri moških iz 175 cm na 160 cm, pri ženskah pa iz 165 cm na zgolj 150 cm), kar kaže na to, da se je zmanjševala količina razpoložljive energije (Diamond 1999). Šele nekje pred 5000 leti se je prehrana izboljšala in ljudje smo spet začeli rasti, a v nekaterih deželah še vedno niso nadoknadili zamujenih let.

*Preglednica 1: Potreba po mehanski moči pri nekaterih kmečkih opravilih.*

<b>Dejavnost</b>	<b>Potreba po moči [W]</b>
Čiščenje oziroma odstranjevanje grmičevja in sečnja dreves	400–600
Sajenje	200–500
Okopavanje	400–1000
Oranje z vlečno živaljo	350–550
Vožnja štirikolesnega traktorja	150–300
Vožnja in nadzor enoosnega traktorja	350–650

Kot smo že omenili, lahko celovito količino proizvedene energije človeštva ugotovimo iz zmnožka števila prebivalcev in povprečne količine potrebne moči na prebivalca (na primer pri opravljanju tipičnih poljedelskih opravil). Preglednica 1 prikazuje potrebo po (mehanski) moči pri nekaterih tipičnih opravilih (FAO 2004)<sup>4</sup>.

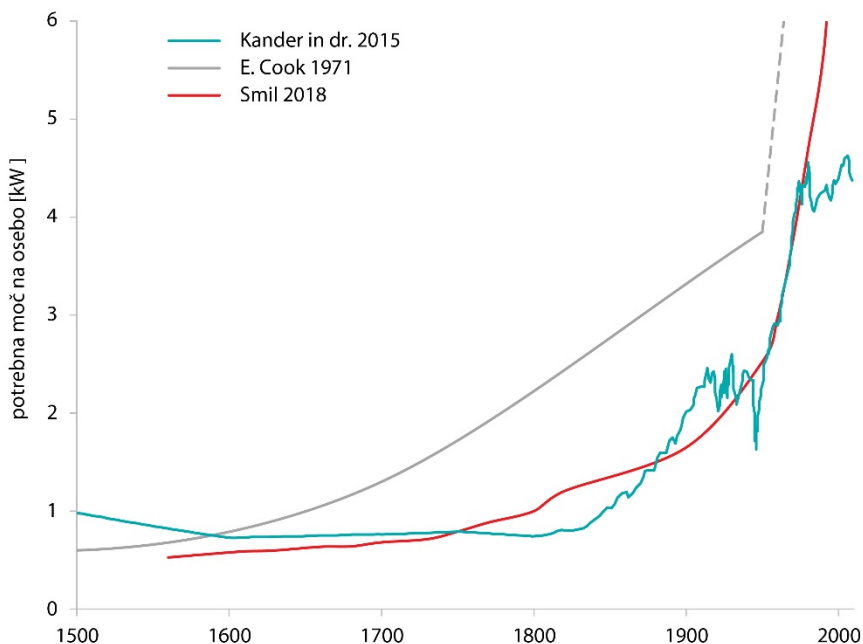
*Preglednica 2: Potreba po moči na osebo v razvitih predelih sveta v različnih dobah.*

<b>Časovno obdobje</b>	<b>Potreba po moči na osebo [W]</b>	<b>Vir</b>
5–7 milijonov let pr. n. št.	100	(Kander in dr. 2015)
1–0.5 milijonov let pr. n. št.	170–200	(Kander in dr. 2015)
20.000 pr. n. št.	130	(Smil 2018)
10.000 pr. n. št.	250	(Kander in dr. 2015)
1 n. št.	400	(E. Cook 1971)
1500 n. št. (napredna poljedelska doba)	600	(E. Cook 1971)
1700 n. št.	1.300	(E. Cook 1971)
1950 n. št. (industrijska doba)	3.850	(E. Cook 1971)
2000 n. št. (tehnološka doba, projekcija <sup>5</sup> )	11.500	(E. Cook 1971)

<sup>4</sup> Količina energije je v tej knjigi pretežno podana v obliki moči oziroma energijskega toka, ki ga oseba potrebuje ob opravljanju dela. Ta je navedena praviloma v vatih [W], kar ustreza enaki količini J/s ali Wh na uro. Tako recimo 1000 W za okopavanje pomeni, da oseba v eni uri porabi kar 1000 Wh ali 1 kWh. Na ta način so vrednosti o moči lahko primerljive z napravami iz naših gospodinjstev: kavni mlinček porabi kakih 100 W, sesalec 500–800 W, štedilnik tudi prek 2 kW in avtomobili od nekaj 10 do več 100 kW (eSvet 2014).

<sup>5</sup> Znanstveniki izjemno neradi uporabljajo besedo napoved, saj naj bi takšne besede radi uporabljali šarlatanski napovedovalci prihodnosti. Zato raje uporabljajo besedo projekcija, ki verneje pojasnjuje njihovo dejavnost, ko nabor obstoječih obdelanih podatkov projicirajo v prihodnost. Besedo projekcija bom uporabljal tudi v tej knjigi razen v že utečenih besednih zvezah – na primer vremenska napoved.

Tako se zdi dnevna poraba 2000 kcal (oziroma zahtevana moč 100 W) na osebo iz prazgodovine smiselna (Agnoletti in Serner 2014; Penna 2019). Podatke iz pradavnine je resnično težko pridobiti, zato se veliko raziskovalcev (E. Cook 1971; Smil 2018; Kander in dr. 2015) opira na parcialno seštevanje potreb po moči za skrb za dom in trgovanje, moči za opravljanje poljedelskih in kasnejših obrtniško-industrijskih del ter moči, potrebne za mobilnost, kar je prikazano v preglednici 2007. Dnevni/tedenski/mesečni seštevek potreb po moči mora, vsaj na dolgi rok, ustrezati energiji, ki jo oseba dnevno/tedensko/mesečno prejme s prehranjevanjem. Pri tem je potrebno omeniti, da so zaradi velikih razlik v razvitosti sveta ocene povprečij precej vprašljive.



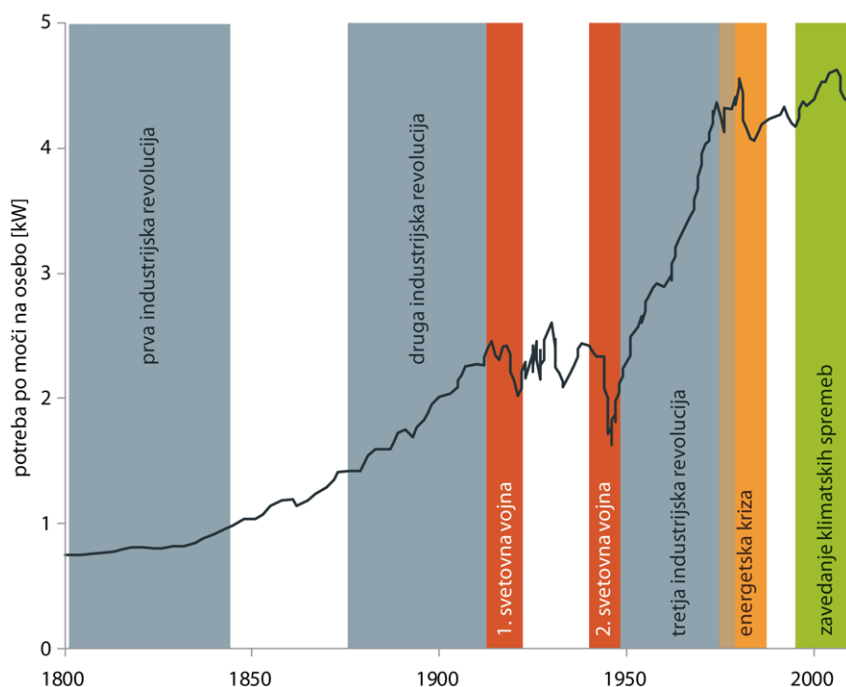
Slika 2: Bruto potreba po moči na osebo od leta 1500 do danes (Kander in dr. 2015; E. Cook 1971; Smil 2018).

Informacije o energetskih potrebah na osebo postanejo kasneje nekoliko lažje dosegljive tudi zaradi boljšega beleženja opravil, sploh za Evropo (torej za razvitejši del sveta) in za obdobje po letu 1500 (Kander in dr. 2015). Pri tem energija, ki jo zahtevajo tehnološki procesi<sup>6</sup>, že začne prevladovati nad potrebno osnovno življenjsko energijo. Slika 2 prikazuje povprečno potrebo po moči na osebo v

<sup>6</sup> V celotni knjigi govorimo o primarni energiji.

razvitem svetu v obdobju od leta 1500 dalje po podatkih iz različnih virov. Z modro črto so prikazani podatki Kander in dr. (2015), ki zelo podrobno prikazujejo porabo energije na osebo od leta 1800 dalje, pri čemer so lahko rekonstruirali porabo nazaj vse do leta 1500, s sivo črto podatki Cooka (E. Cook 1971) in z rdečo črto generalizirani podatki za ZDA (EIA 2011; Energy in the United States 2020; EIA 2020a).

Razvidna je hitra rast potreb po energiji, ki je čista posledica industrializacije družbe od 18. stoletja dalje. Pri tem je potrebno opozoriti, da je Cookova ocena najstarejša, že zato verjetno najmanj natančna ter usmerjena v (takratno) prihodnost in tudi zato precenjena. Na drugi strani pa podatki Kander in dr. kažejo vpliv katastrof 16. in 17. stoletja: verskih vojn in epidemij.



Slika 3: Potreba po moči na osebo v razvitem delu sveta od leta 1800 do danes z vrisanimi pomembnejšimi svetovnimi obdobji industrijske revolucije, svetovni vojni in krize (Kander in dr. 2015).

Iz podatkov je prav tako vidna hitra rast porabe energije na osebo v letih 1800–1900. V dvajsetem stoletju pride do padcev porabe, kar je verjetno posledica obeh svetovnih vojn, po 2. svetovni vojni pa smo spet priča visoki rasti, ki traja vse do energetskih kriz. Slika 3 prikazuje potrebo po moči na osebo v razvitem svetu od leta 1800 dalje z vrisanimi pomembnejšimi svetovnimi obdobji, in sicer prikazane so tri

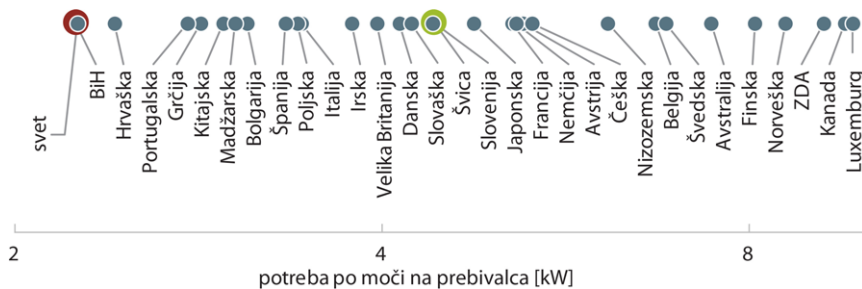
industrijske revolucije, dve svetovni vojni, energetske krize in obdobje začetka zavedanj podnebnih sprememb.

Pri tem pa je potrebno opozoriti, da so energetska povprečja za celoten svet precej manjša. Preglednica 3 kaže svetovna povprečja od leta 1990 do 2019. Čeprav se rast specifičnih energijskih potreb na posameznega prebivalca že deloma zmanjšuje, pa raba primarne energije še vedno hitro narašča zaradi še vedno hitre populacijske rasti. V letih od 1990 do 2019 je rast porabe energije znašala približno 1,52 % letno, pri čemer lahko večino rasti pripišemo še vedno prisotni rasti števila prebivalcev, ki v tem času znaša približno 1,2 % letno.

Preglednica 3: Globalna potreba po moči na osebo od 1990 do 2019.

Leto	Letna globalna poraba energije [TWh]	Število prebivalcev [milijarda]	Povprečna potreba po moči na osebo [W]
1990	102.700	5,28	2220
2008	143.900	6,76	2430
2019	159.000	7,70	2360

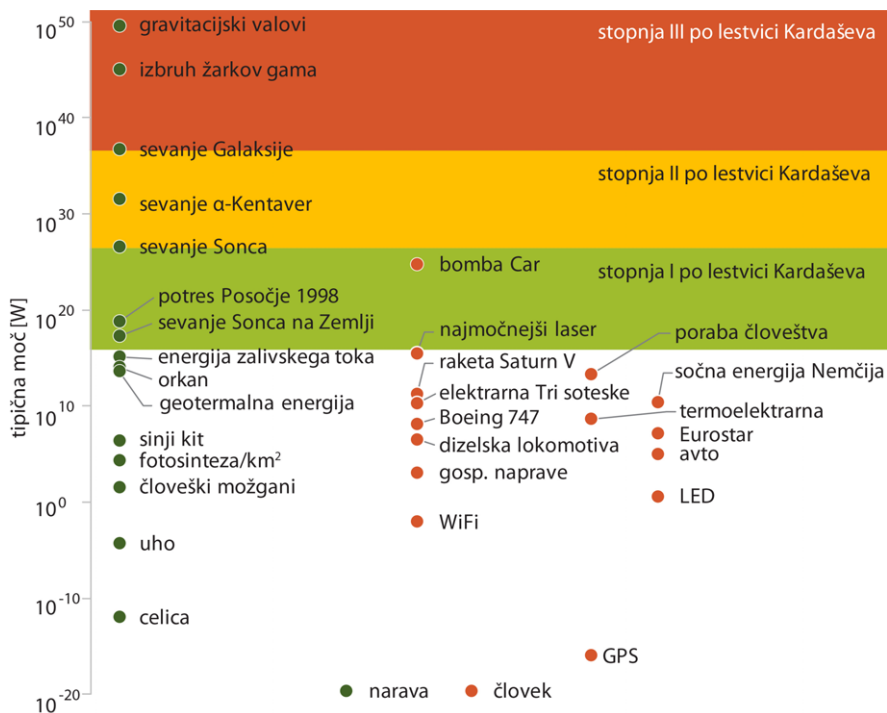
Podobno kaže tudi slika 4, ki prikazuje porabo energije na osebo za različne, povečini evropske države (List of countries by energy consumption per capita 2020). Pri tem se Slovenija uvršča nekam na sredino, razmerje med najbolj in najmanj potratnimi pa je skoraj 5 : 1. Če bi upoštevali še energetske revnejše države sveta (glej sliko 10), bi bilo razmerje še toliko slabše.



Slika 4: Poraba energije na osebo za različne, pretežno evropske države (List of countries by energy consumption per capita 2020).

Tipične moči nekaterih naravnih in človeških pojavov prikazuje slika 5 (Orders of magnitude (power) 2020). Za lažje razumevanje je skala tipičnih moči logaritemska. Tipične moči, ki se porabljajo za izdelavo človeških izdelkov, segajo od nekaj milivatov (telekomunikacije), do nekaj kilovatov (na primer avto). Elektrarne

dosežejo porabo mega- in gigavatov, raketa Saturn V pa skoraj teravat (a le za 150 sekund – kolikor časa traja vžig prve, torej najmočnejše stopnje). Na drugi strani imamo naravne pojave, kot so sproščanje celične energije, moč, ki jo porabljajo naši možgani, prek energije sinjega kit, ki je primerljiva s porabo vlaka ter sončno sevanje na naš planet (slednje je enako stopnji I po lestvici Karđaševa, glej poglavje 4). Največje energijsko zahtevna reč v vesolju so nedavno odkriti gravitacijski valovi, ki imajo nepredstavljivo tipično moč  $10^{50}$  W.



Slika 5: Tipična moč posameznih naravnih pojavov in človeških naprav (Orders of magnitude (power) 2020).

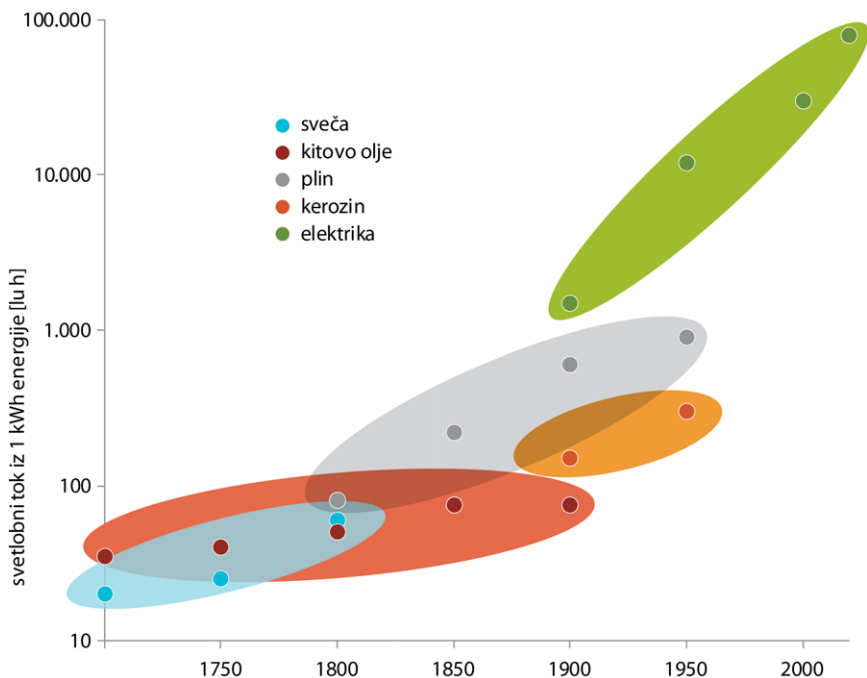
## 2.2 Učinkovitost naprav

Navkljub folklornim prepričanjem, da imajo sodobne naprave vgrajen datum zastarelosti, se te povečini izboljšujejo tako glede vzdržljivosti kot tudi energetske učinkovitosti. Seveda to ne velja za izrazito kompleksne ali premalo preizkušene tehnologije. Energetsko učinkovitost domačih gospodinjstkih strojev in naprav,



avtomobilov ipd. zahtevajo vladni regulatorji, pri čemer prednjači Evropa. Izboljšave so povečini dveh vrst:

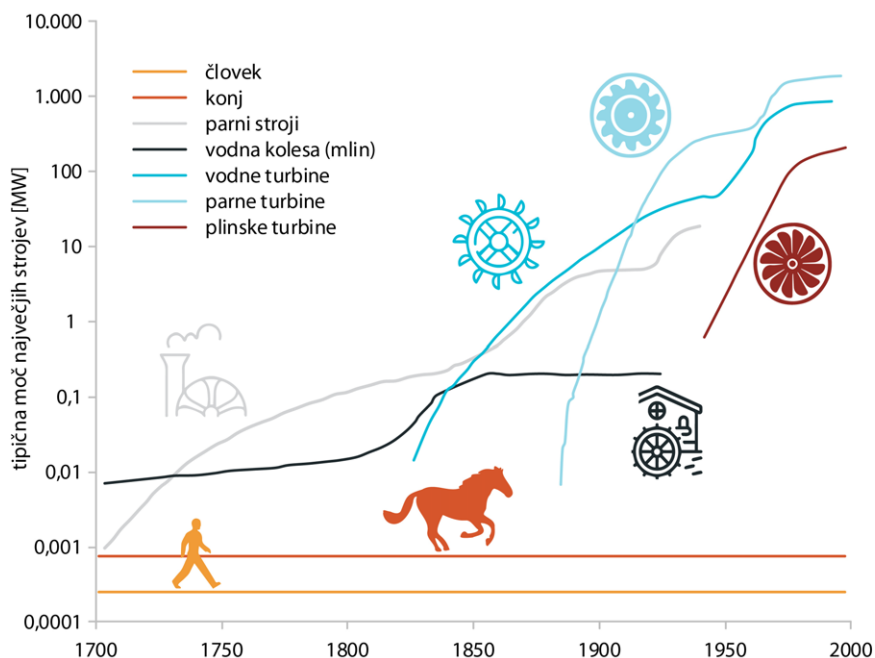
1. izboljšave obstoječe tehnologije, ki so povečini počasnejše, a običajno trajajo dlje,
2. tehnološki preskoki, kjer se nova tehnologija izkaže za tako boljšo od predhodne, da slednja izumre ali pa najde nišno vlogo (Pain 2017).



Slika 6: Izboljšave učinkovitosti različnih svetil od leta 1700 do danes (Smil 2006).

Izboljšave svetil skozi zgodovino (skozi tri industrijske revolucije), in sicer od sveče, prek leščerbe na kitovo olje, plinske in kerozinske razsvetljave, pa vse do Edisonove žarnice in sodobnih LED svetil, prikazuje slika 6. Učinkovitost snovi, ki ima 1 kWh shranjene energije, je ponazorjena z zmnožkom enote svetilnosti (v lumnih) in trajanjem uporabe snovi (v urah). Iz grafa je razvidno, da smo v dobrih 300 letih izkoristek več kot potisočeriili. Razviden je počasen, a vendarle stalen napredek, ki je pospešil z uporabo plina in strahovito preskočil pri učinkovitosti v obdobju rabe elektrike. Pri tem je pomembno opozoriti, da so sodobne LED svetilke vključene v elektriko, čeravno bi jih bilo smiselno uvrstiti v svoj razred.

Podobne zakonitosti lahko opazimo tudi pri rasti moči, ki določa uporabnost naprav. Slika 7 prikazuje rast moči največjih naprav in strojev od leta 1700 do danes (Smil 2006). Mera za velikost naprave je kar moč (v MW), pri čemer vidimo, da sodobne parne turbine dosežejo moči do 2000 MW, kar je skoraj milijonkrat več kot so imela moči vodna kolesa pred tremi stoletji. Hkrati sta simbolično vrisani moči človeka (100–300 W) in konja<sup>7</sup> (Historical Timeline - Alternative Energy 2013).



Slika 7: Rast moči največjih energetskih naprav od leta 1700 do danes (Smil 2006).

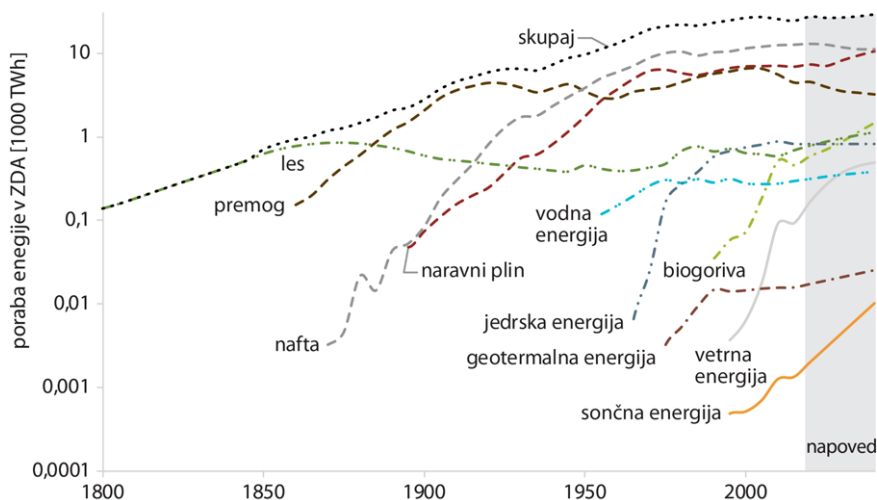
## 2.3 Delež fosilnih goriv

Izpusti ogljikovega dioksida, pomembnega toplogrednega plina, so ena od izhodnih komponent v več kemijskih reakcijah, na primer pri gorenju energentov in tudi dihanju živih organizmov. Kakorkoli že, iz koncentracije ogljikovega dioksida v atmosferi lahko tako sklepamo na učinkovitost proizvodnje energije – bodisi s strani živih bitij bodisi naprav.

<sup>7</sup> Ta po Wattovi definiciji znaša približno 750 W.

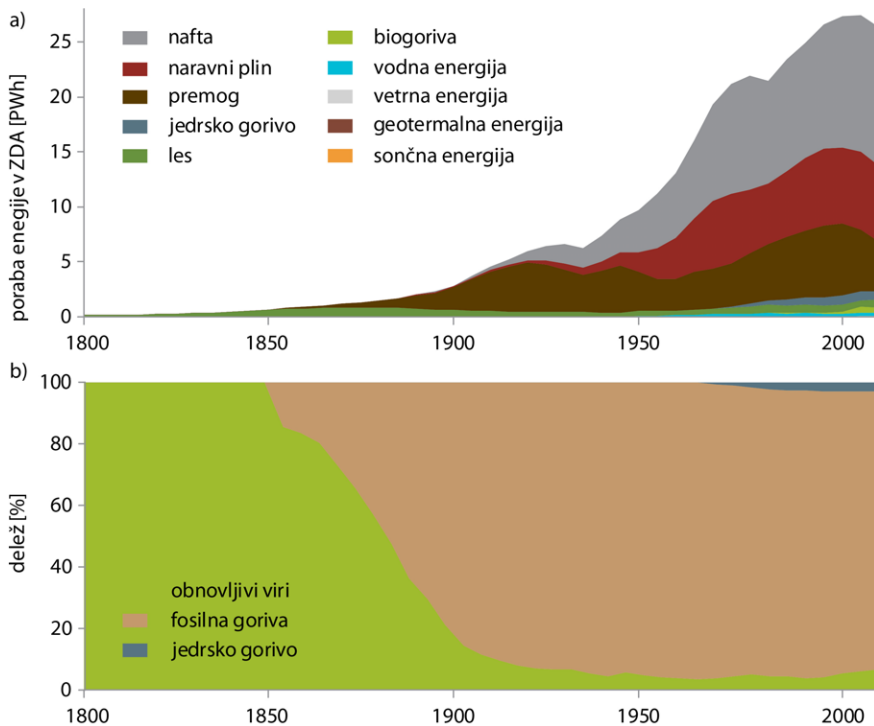
Naraščajoče potrebe po energiji pomenijo, da segamo po lahko dostopnih energentih. Celotna tehnološka revolucija se je pravzaprav zgodila na račun fosilnih goriv. Pred letom 1800 so prevladovali tradicionalni obnovljivi viri (biomasa za ogrevanje, vodna za pogon mlinov, veter za morebitno črpanje vode). Po letu 1850 pa je strahovito povečanje potreb tradicionalne vire potisnilo na stranski tir.

Slika 8 prikazuje porabo energije v ZDA od leta 1800 dalje (EIA 2011; EIA 2020b), pri čemer je potrebno opozoriti, da je skala porabe logaritemska, tako da so vidni tudi nekateri res minimalni deleži obnovljivih virov (npr. sončna in vetrna energija).



Slika 8: Zgodovinska porabe energije v ZDA glede na njen vir (EIA 2011; EIA 2020b).

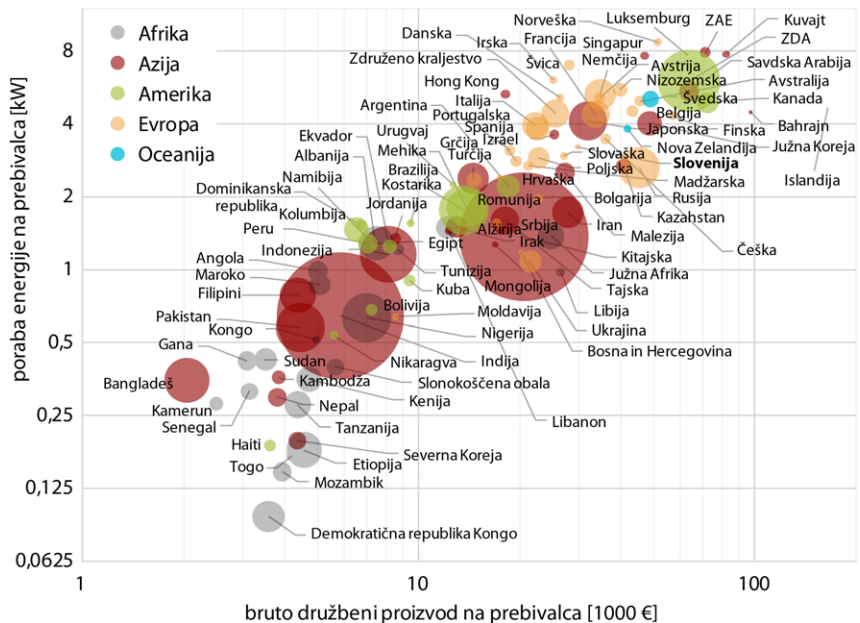
Slika 9a prikazuje globalno porabo energije (Smil 2017; BP 2020). Za razliko od prejšnje slike je tu ordinata linearna, s čimer je večji poudarek na bližnji preteklosti, tako da iz grafa lahko sklepamo na rast porabe posameznih goriv v zadnjih letih. Vsekakor je delež obnovljive energije mizern in težko opazen. Vidi pa se dominantnost fosilnih goriv vse do danes. Še več, veliki energetski up petdesetih let prejšnjega stoletja, jedrska energija, je v osemdesetih letih zaradi večjega števila nesreč izgubila na zanimanju (nesreče na Otoku Treh milj, v Černobilu in kasneje v Fukušimi), tako da se delež fosilnih goriv še naprej povečuje. Slika 9b pa prikazuje delež fosilnih goriv v celotni svetovni porabi energije, pri čemer je viden porast ob razmahu industrijskih revolucij (v 19. stoletju) in rahel upad (v I. in II. energetski krizi, globalna recesija) in nato spet rast od osemdesetih let prejšnjega stoletja dalje.



Slika 9: Svetovna poraba energije glede na vir (a) in delež fosilnih goriv (b) od leta 1800 (Smil 2017; BP 2020).

## 2.4 Vpliv bruto družbenega proizvoda (BDP)

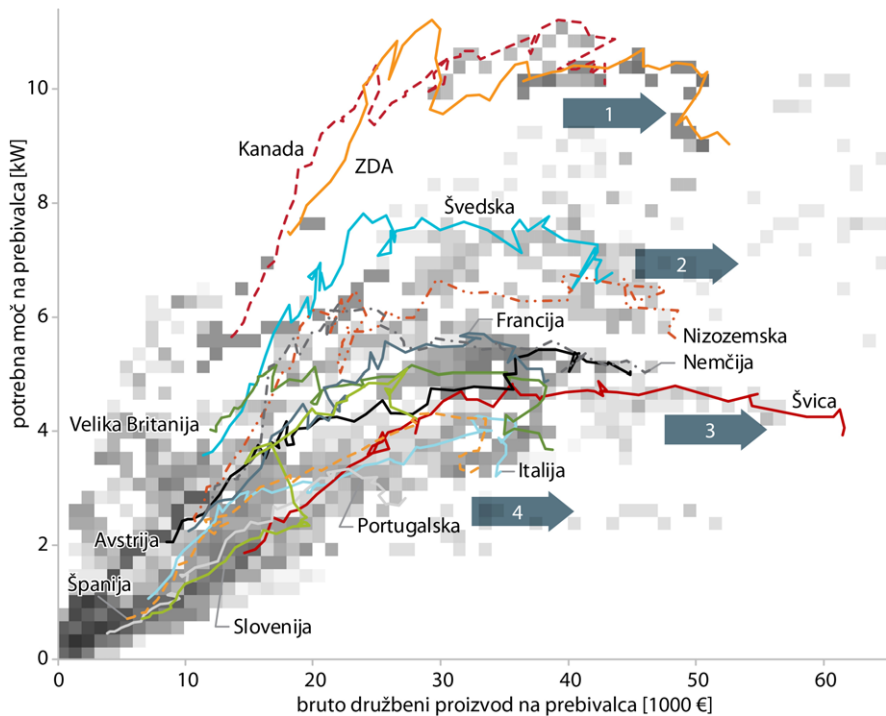
Eden od poglobitnih vzvodov, ki močno vpliva na količino proizvedene in porabljene energije, je ekonomska aktivnost družbe (Courtney 2005). V času poudarjene matematične ekonometrije to merimo kar prek BDP posamezne države. Energetska učinkovitost posamezne države lahko tako merimo z izplenom BDP v razmerju do za to porabljene energije, še posebej če v obzir vzamemo tudi število prebivalcev. Slika 10 tako prikazuje sovpadanje podatkov (logaritmična skala) o uporabi energije na prebivalca in bruto družbenem proizvodu na prebivalca za nekaj zanimivejših držav za leto 2015 (EEA 2015). Velikost kroga je odvisna od števila prebivalstva, torej koliko posamezna država prispeva k celotnemu svetovnemu deležu porabe energije, barva pa prikazuje celino. Že hiter pregled pokaže kar nekaj razvojnih problemov: pretežno slabo razvito Afriko, ki pa ji demografske projekcije pripisujejo največjo rast prebivalstva v bližnji prihodnosti, razvijajočo Azijo s številnim prebivalstvom, starajočo in potratno Evropo in druge bogate države.



Slika 10: Primerjava porabe energije na prebivalca in bruto družbenega proizvoda na prebivalca za nekaj tipičnih držav vseh celin (EEA 2015).

Manjše energetske potrebe revnejših držav (in obratno – večje potrebe bogatejših) razporedijo države v ozek pas. Pri tem pa se zdi, da manj razvite države posnemajo bolj razvite, saj pri razvoju vseeno porabljajo velike količine energije, pretežno v obliki fosilnih goriv. Zato je smiselno ugotoviti, ali ob svoji ekonomski rasti vse države sledijo malodane enaki poti hkratne energijske rasti ali pa dobro izkoristijo pametne nauke predhodnikov in izberejo manj potratno rast.

Zgodovinski razvoj razmerja med bruto družbenim proizvodom in porabo energije preračunano na prebivalca za nekatere zanimivejše evropske države in svetovne velesile je prikazan na sliki 11. Pod krivuljami za posamezne države je izrisan 2D histogram, ki prikazuje zgodovinske vrednosti razmerij vseh držav, pri čemer so podatki za posamezne države uravnoteženi glede na število prebivalcev. Temnejša območja ponazarjajo pogostejše kombinacije družbenega proizvoda in porabe energije.



Slika 11: Zgodovinski razvoj razmerja med bruto družbenim proizvodom in porabo energije, oboje preračunano na prebivalca v zadnjih 30 letih za nekatere zanimivejše evropske države in svetovne velesile (EEA 2015).

Iz grafa so razvidne tri do štiri glavne smeri razvoja: zgornja smer visoke porabe, kjer večino predstavljata energetske obljudeni ZDA in Kanada (smer 1); srednja smer običajne porabe, kjer se gibljejo energetske še vedno obljudene države, npr. Švedska, Nizozemska in Avstralija (smer 2); nizka smer varčnejše porabe, kjer se nahajajo države, ki v zadnjih letih veliko vlagajo v varčevanje z energijo, npr. Nemčija, Francija, Švica (smer 3). Pri tem je pozicija Slovenije relativno ugodna in sledi smeri 3, čeprav je zaradi velike ekonomske krize prišlo do relativnega povečanja porabe (glede na BDP). Med najuspešnejše države pa spadajo tiste, ki imajo omejen dostop do energije, svoj ekonomski model pa vodijo na področju visokokakovostnih izdelkov in storitev, npr. Hong Kong (smer 4).

Iz predlagane analize se da razbrati, da manj razvitim državam ni potrebno slediti ekonomsko potratnim razvojnim načinom, temveč je ob specializaciji mogoče izbrati bolj sonaraven tip razvoja.

## 2.4.1 Gospodarska blaginja

Bruto domači proizvod je merilo celotne proizvodnje neke države ali regije (Roser 2013b). Natančneje, to je denarna vrednost vsega blaga in storitev, proizvedenih v državi ali regiji v določenem časovnem obdobju. Medtem ko je opredelitev enostavna, je natančno merjenje presenetljivo težko, še posebej če primerjamo različna časovna obdobja in/ali države, dodatno pa se zaplete zaradi različnih cen, kakovosti in valutnih razlik. Gospodarska blaginja se meri z rastjo domačega proizvoda (BDP) na prebivalca, vrednostjo vsega blaga in storitev, ki jih je država ustvarila v enem letu, deljeno s prebivalstvom države. Gospodarska rast je merilo spremembe BDP iz leta v leto. Iz dolgoročne perspektive socialne zgodovine vemo, da je gospodarska blaginja in trajna gospodarska rast (in povečana blaginja za večino prebivalstva<sup>8</sup>) precejšen dosežek za človeštvo.

Žal so daljši historični podatki o gospodarski rasti posameznih držav na voljo le za peščico držav: Francijo, Nizozemsko, Portugalsko, Švedsko in Združeno Kraljestvo, ki je najbolj zanimivo zaradi prvenstva v industrijskih revolucijah in je tako postalo prvo gospodarstvo s trajno gospodarsko rastjo, ki z občasnimi prekinitvami traja nekje od srede 18. stoletja pa vse do danes. Kasneje so tej poti sledile tudi ostale države, nekatere hitreje, druge počasneje, z več ali manj prekinitvami.

A če gledamo dolgoročne zgodovinske podatke (slika 12), pri čemer je vredno opozoriti na logaritemsko ordinatno skalo, je gospodarska zgodovina razmeroma preprosta dvodelna zgodba (Mokyr 1998):

- Prvi del obsega zelo dolgo obdobje, ko je bila povprečna oseba razmeroma revna in človeške družbe niso dosegle gospodarske rasti, da bi to spremenile. Prihodki so ostali skoraj nespremenjeni več stoletij v primerjavi s povečanjem dohodkov v zadnjih dveh stoletjih. Življenje se je zelo malo spremenilo, saj so njihova zatočišča, hrana, oblačila, oskrba z energijo in celo vir svetlobe dolga stoletja ostajali podobni, če ne celo enaki. Skoraj vse, kar so običajni ljudje uporabljali in uživali v 17. stoletju, so dobro poznali že ljudje, ki so živeli tisoč ali celo nekaj tisoč let prej. Povprečni dohodki v Evropi (BDP na prebivalca) med letom 1300 in 1700 so znašali približno 1000 evrov (v današnjih cenah).
- Drugi del je krajši, zajema le zadnjih nekaj generacij in je korenito drugačen od prvega dela. V tem obdobju je dohodek povprečnega človeka naraščal

---

<sup>8</sup> Tule bomo zanemarili vpliv ekonomske neenakosti, ki jo empirično najpreprosteje opiše Ginijev koeficient, vendar ustrežna obravnava presega okvirje tega pisanja. Ekonomska neenakost in razvoj nista čisto enoznačno povezana, zato je bralca ustrezneje napotiti na boljše branje (Roser in Ortiz-Ospina 2013; Kapoor in Debroy 2019).

izjemno hitro – od povprečno 1000 evrov na osebo na leto na skoraj 30.000 evrov (podatek velja za Slovenijo), kar je približno 15-kratno povečanje blaginje. Še bolj pa se je povečala skupna proizvodnja gospodarstva, saj se je od začetka industrijske revolucije povečalo tudi število prebivalcev posameznih držav<sup>9</sup>.

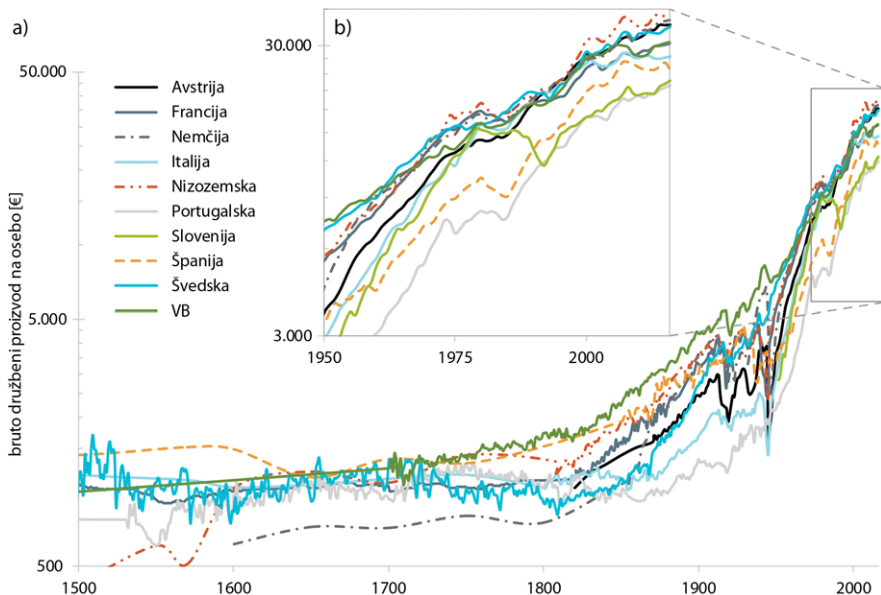
Ena od tez, ki velja že kar nekaj časa, je, da je bil preskok v razvoju spodbujen z ureditvijo patentne zakonodaje (Jones 2001). V primeru Anglije (oziroma kasneje Velike Britanije) je do 16. stoletja vlada podeljevala patente<sup>10</sup> in s tem monopole za izdelavo in/ali uporabo številnih zaželenih izdelkov. Pri tem pa so bili patenti lahko zlorabljeni kot izgovor za vladno nabiranje denarja, saj so se patenti podeljevali na primer tudi za sol in podobno (History of patent law 2020). Na začetku 17. stoletja so sodišča take patente začela omejevati, kasneje pa je parlament sprejel zakon, ki je patente omejil na nove izdelke. Prav tako je bil monopol koriščenja izdelka časovno omejen na štirinajst let, kar je ustrezalo dvojni dolžini obrtniške učne dobe. Po tem času je patent potekel, načrt za izdelek pa je prešel v javno last. Na ta način je država poskušala v zameno za ekskluzivne, a časovno omejene pravice, pridobiti široko znanje, ki so ga lahko kasneje uporabljali brez zadržkov, hkrati pa so patenti preprečevali večkratno izumljanje, saj je bilo delovanje neke naprave s patentom natančno pojasnjeno. Sistem patentov kot temelj spoštovanja pravice do privatne lastnine se je do leta 1700 še praktično utrdil, kar se v dobršni meri ujema s historičnimi podatki o razvoju sodobne industrijske družbe (North in Thomas 1973). Patentni sistem je bil tako po namenu precej drugačen od cehovskega, ki je temeljil na tajnosti izdelkov in na izdelovalnih postopkih. Številni kritiki pa na podlagi ocene, da prenekateri izumi niso pridobili patenta, oporekajo njegovi vlogi v industrijskih revolucijah (Nuvolari in Macleod 2010).

---

<sup>9</sup> Pri tem je smiselno omeniti tudi finančne omejitve v obdobju industrijskih revolucij, sploh prve in deloma tudi druge. Količina denarja v obtoku je bila omejena z zlatim standardom (neposredno vezana na količino zlatih rezerv), pri čemer je bila rast mogoča le ob novem rudarjenju in tako ni omogočala prilagoditve novim, višjim produktivnostim tehnološkega razvoja. To je zaradi stroškov proizvodnje na daljši rok ustvarjalo deflacijo in nižalo plače, kar je spet ustvarjalo dodatne napetosti in vodilo do vojn (Blyth 2019).

<sup>10</sup> Ime *patent* izhaja iz latinskega poimenovanja *iterae patenti*, kar pomeni odprto pismo, v katerem je pojasnjeno delovanje naprave (Pretnar 2020).





Slika 12: Bruto družbeni proizvod večjih evropskih držav (krepko) in nekaterih manjših od leta 1500 dalje (Maddison 1978).

Slika 12 prikazuje bruto družbeni proizvod večjih evropskih držav (Anglije oziroma Združenega kraljestva, Francije in Nemčije) in nekaterih manjših od leta 1500 dalje, pri čemer je osnova Madissonov projekt (Maddison 1978)<sup>11</sup>. Zanimiv je pogled na plato do leta 1700, ko je večina držav zaradi stagnacije v razvoju krmarila z okoli 1000 evri letno na prebivalca – izjema je bila Španija, ki je verjetno bogatela na račun odkritij Novega sveta. Ta fenomen so kasneje poimenovali Malthusova past, po esejistu, ki je v 18. stoletju napovedoval obdobja prihajajoče lakote (Malthus 1789). Njegova prerokba se ni uresničila prav zaradi tehnološkega napredka, ki je omogočil, da se s poljedelstvom oziroma predelavo hrane na sploh ukvarja manj ljudi, delovne ure, ki so pri tem ostajale, pa so bile tako lahko namenjene vložku v nov cikel razvoja.

Podobno zanimiv je tudi vrstni red držav na lestvici uspešnosti. Današnja ekonomska velesila Nemčija je vse do združitve v drugi polovici 19. stoletja capljala za drugimi, tudi Avstrijo. Po tem letu je prišlo do izjemno hitre industrializacije, ki je do leta 1910 Nemčijo že ponesla med razvitejše evropske države, hkrati pa je prišlo

<sup>11</sup> Potrebno je opozoriti, da so podatki iz različnih virov neusklajeni. Že samo zbiranje podatkov za stoletja nazaj je zahtevno, dodatne zaplete pa povzročajo politične (npr. združevanje in razdruževanje držav, vojne) in ekonomske spremembe (spremembe valutnih razmerij), ki lahko dodatno vplivajo na rezultate.

do hitre rasti nemškega prebivalstva, kar je dodatno krepilo nemško ekonomsko moč in s tem geopolitične pretenzije (Waites 1989). Za Slovenijo so na voljo zgolj podatki od obdobja po 2. svetovni vojni pa do danes. Iz teh podatkov je viden hiter napredek do začetka osemdesetih let prejšnjega stoletja, potem pa je Slovenija padla v globoko krizo, ki se je končala šele z osamosvojitvijo.

Slika 12 nakazuje tudi, da se stare ekonomske soodvisnosti (na primer sklenjenost stagnacije prebivalstva in gospodarske rasti) lahko spremenijo, tako kot lahko manj razvite države postanejo bolj razvite in obratno. Razklop, torej razprtje soodvisnosti med posameznimi ekonomsko-populacijsko-energetskimi kategorijami pa bo še posebej pomemben v prihodnje, ko bomo poskušali trajnostno rast uresničevati z manjšo uporabo energije in verjetno s stagniranjem prebivalstva v drugi polovici 21. stoletja.

## 2.5 Vpliv rasti prebivalstva

Slika 13 z rdečo črto kaže število prebivalcev sveta v milijonih (leva skala) in z zelenimi stolpci letno rast prebivalstva (desna skala) od leta 10.000 pr. n. št. do danes. Označena so nekatera pomembna obdobja od predantike dalje, na primer nastanek poljedelske združbe in vznik prvih civilizacij. Vpliv poljedelske združbe je razmeroma majhen in nekje po polovici razvoja poljedelske združbe rast prebivalstva stagnira. Šele vznik prvih civilizacij pa rast prebivalstva spet močno pospeši.

Glavni vir podatkov so bili uradni viri ZN (UN 2020), med njimi še posebej Our World in Data (Roser in dr. 2013), Madissonov projekt (Maddison 1978) in ostali. Celovitejši pregled različnih projekcij ali zgodovinskih statistik glede prebivalstva z obširnimi seznamom referenc je na voljo v World population (World population 2020).

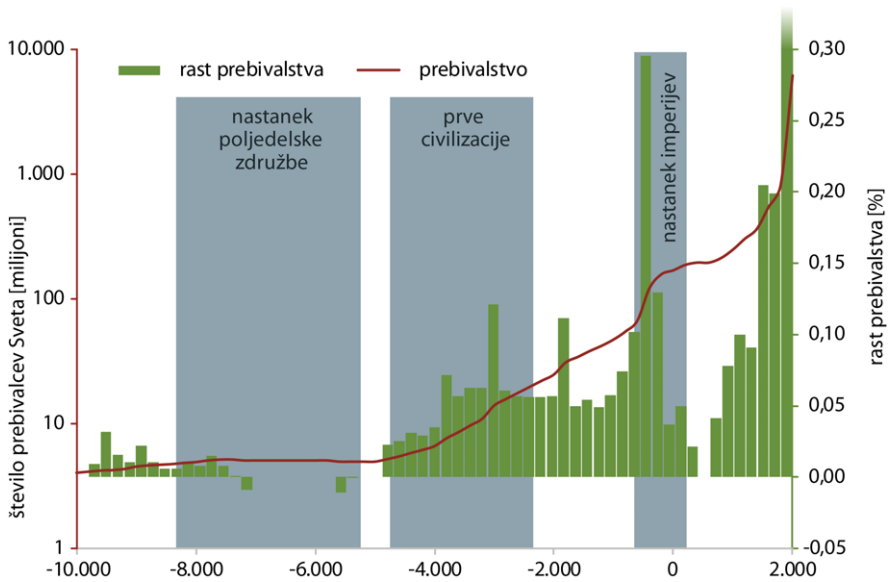
Slika 14 z rdeče-oranžnimi črtami prikazuje število prebivalcev sveta v milijonih (leva skala) in z zelenimi stolpci letno rast prebivalstva (desna skala) od leta 1700 do danes. Vrisani so trije modeli: Our World in Data (Roser in dr. 2013), Johnston (Johnston 2015) in Worldometer (Worldometer 2020), pri čemer so razlike relativno majhne, a seveda največje okoli leta 1700 zaradi pomanjkanja kakovostnih podatkov.

Vrisani so časovni pasovi treh industrijskih revolucij, vendar nobena, razen zadnje, nima vidnega vpliva na število prebivalcev. Ta trditev je v skladu z že obstoječimi ugotovitvami (Brooks 2018; Impacts of the Industrial Revolution 2016), ki navajajo, da je prva industrijska revolucija zajela predvsem Anglijo (oziroma Veliko Britanijo), druga razvitejšo Zahodno Evropo in nekatere ostale razvite države, tretja pa ves svet.

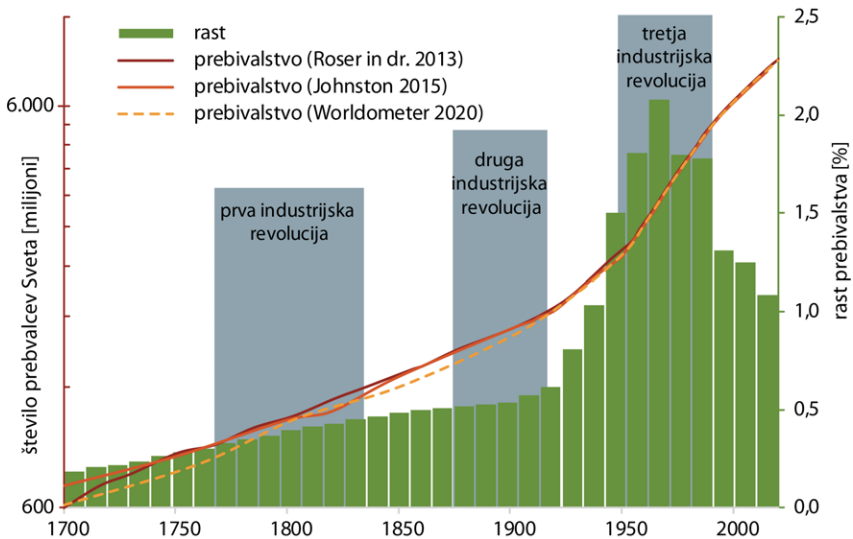
Slika 15 kaže število prebivalcev Evrope (zgornji graf, črna izvlečena črta) in Britanskega otočja (spodnji graf, rdeča izvlečena črta) v milijonih (leva skala), modri oziroma oranžni stolpci prikazujejo letno rast prebivalstva (desna skala) od leta 1700 do danes z vrisanimi obdobji treh industrijskih revolucij. Kot je razvidno iz grafa rasti prebivalstva, prva industrijska revolucija ni imela ključnega vpliva na rast evropskega prebivalstva, še več, ravno v času prve industrijske revolucije so evropsko celino pestile tako francoska revolucija in kasnejše Napoleonove vojne, kar je verjetno negativno vplivalo na razvoj in rast prebivalstva. Zato pa je toliko bolj viden vpliv druge in tretje industrijske revolucije ter uničujoč vpliv obeh svetovnih vojn. Veliko bolj pa je viden vpliv industrijskih revolucij na prebivalstvo Britanskega otočja. Pri tem je zelo izrazit vpliv prve industrijske revolucije na razbohotenje prebivalstva v zgodnjem 19. stoletju. Hitro rast prebivalstva je, vsaj v Veliki Britaniji, mogoče zaznati tudi v zadnjih 15 letih, ko je Britanija odprla meje migrantom iz Vzhodne Evrope, pri čemer je v delih države prišlo do hitrega povečevanje tako števila prebivalcev kot tudi deleža priseljencev in kar je do neke mere verjetno botrovalo tudi glasovanju v prid Brexitu (Goodwin in Milazzo 2017).

Primerjava slik 13, 14 in 15 kaže le počasno vključevanje industrijskih revolucij, saj je prva prvenstveno zajela le Anglijo, druga Zahodno Evropo z nekaterimi deli ZDA, tretja pa povečini ves svet. Značilnost industrijskih revolucij je predvsem večkratno povečanje produkcijskega (in ekonomskega) izplena ob enaki ali celo manjši zahtevi po delovni sili. Pri tem je seveda viden ogromen ekonomski razkorak med tistimi, ki so udeleženi v revoluciji (torej države in podjetja, ki razvijajo nove produkcijske procese), in onimi, ki niso. Pri tem slednji vidno zaostanejo in potem lovijo zaostanek.

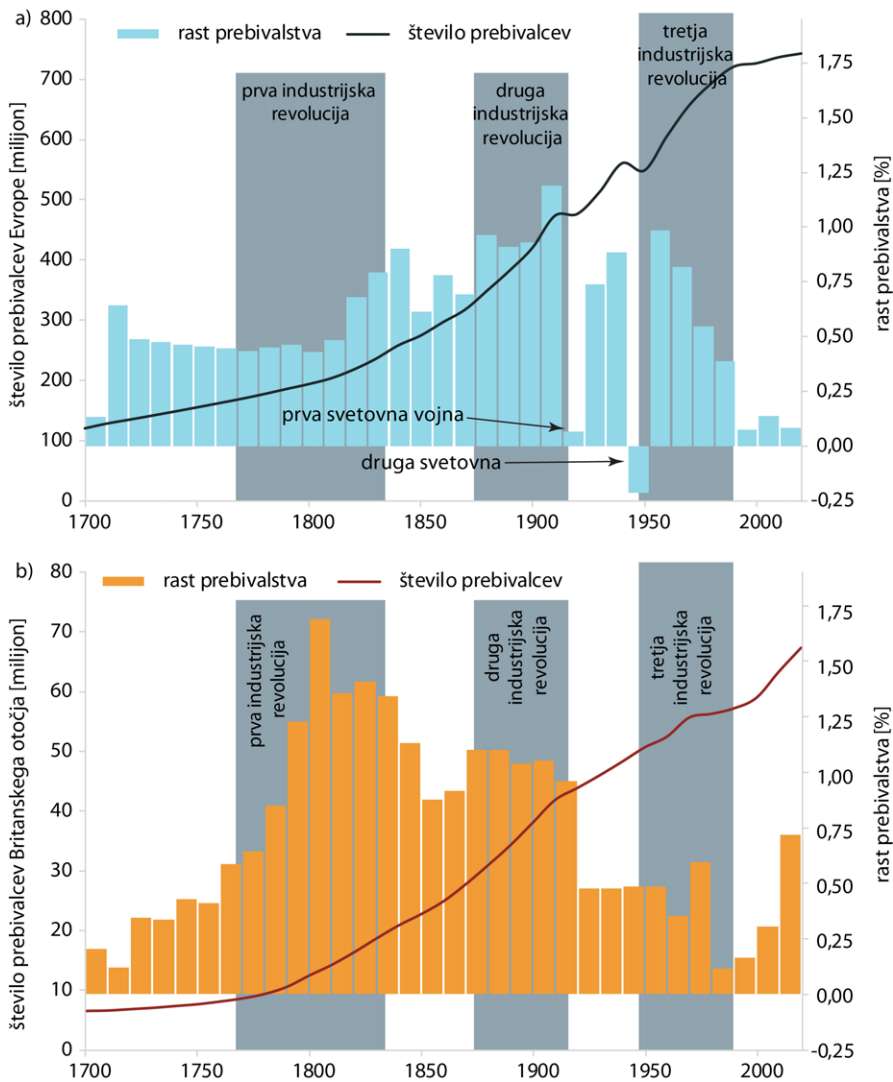
Hkrati je pomembna tudi konceptualna razlika med prvo in drugo industrijsko revolucijo. Pri prvi revoluciji je šlo za tipično tehnološki pristop – preizkusi in ponovi (ang. trial and error). Pri drugi pa je že pomembno vlogo odigrala znanost, ki je nekje neposredno diktirala način reševanja problemov, drugje pa pomagala z naborem uveljavljenih znanstvenih disciplin (Chant 1989).



Slika 13: Prebivalstvo sveta v milijonih od leta 10.000 pr. n. št. do danes (UN 2020; Roser 2013a; Maddison 1978).



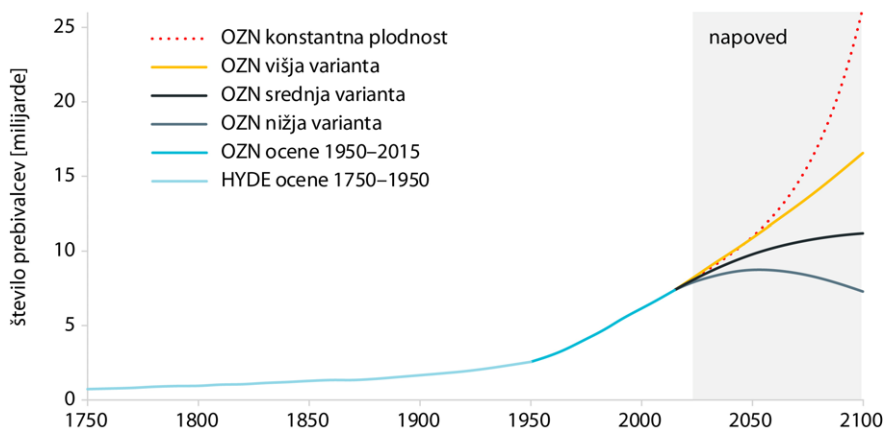
Slika 14: Prebivalstvo sveta v milijonih od leta 1700 do danes (UN 2020; Roser 2013a; Maddison 1978).



Slika 15: Prebivalstvo Evrope (zgoraj) in Britanskega otočja (spodaj) ter njegova rast od leta 1700 do danes (UN 2020; Roser 2013a; Maddison 1978).

Razlike med svetovnimi, evropskimi in britanskimi izkušnjami so posledica tudi precej različnih procesov industrializacij in urbanizacij (Waites 1989). Če gre v primeru Britanije za dolgotrajen razvoj z le malo vpliva zunanjih dejavnikov (npr. vojn), pa gre v primeru ostalih velesil za nekatere ključne razlike. Nemčija, kot je

prikazano v poglavju 2.4.1, in Italija sta doživeli industrializacijo šele po združitvi, slednja pretežno le v severnem delu države. Ruska industrializacija je bila podobno bliskovita, a še vedno močno povezana z agrikulturno podstatjo države, podobno pa je svojo industrializacijo doživljala tudi Francija (ki se vleče vse do danes z visokimi evropskimi plačili francoskim kmetom). Hkrati pa je v vseh državah, razen v Britaniji, čutilo močne šoke kmečko prebivalstvo, ki je zaradi številnih kriz zapustilo svoje kmetije in se napotilo v mesta.

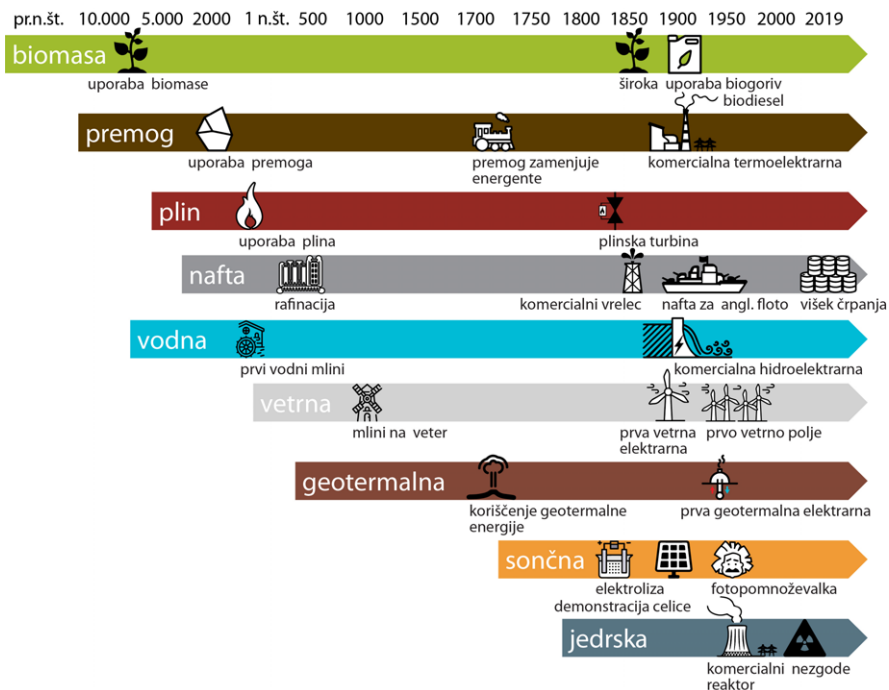


Slika 16: Napovedi rasti števila prebivalstva do konca 21. stoletja (Roser 2013a; Projections of population growth 2020).

Razklop soodvisnosti med rastjo prebivalstva in rastjo porabe energije je nujen, saj je svetovno prebivalstvo še vedno v porastu, hkrati pa v tem prednjačijo države, ki imajo ljudje praviloma najnižje prihodke in hkrati tudi najnižjo porabo energije (na prebivalca). To je logično ponavljanje obnašanja, ki so si ga v preteklosti že privoščile razvite države. Ocenjujejo, da bo rast prebivalstva končana do konca 21. stoletja, pri čemer bi se skupno število prebivalcev umirilo nekje pod 11 milijardami ljudi (Roser 2013a; Projections of population growth 2020). Slika 16 prikazuje rast prebivalstva od sredine 18. stoletja in projekcijo rasti vse do konca 21. stoletja.

## 2.6 Pomembne energetske prelomnice

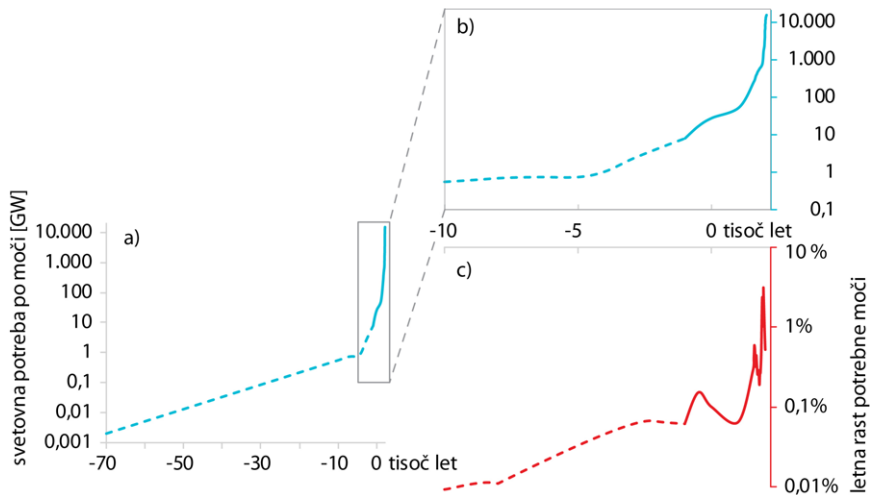
Slika 17 prikazuje ilustrirano zgodovino nekaterih energetske prelomnic. Načeloma se da prelomnice slutiti iz podatkov o koriščenju posameznega tipa energije (slika 8), a takole je še nekoliko bolj nazorno, kako hitro in učinkovito so v zadnjih treh stoletjih prevladala fosilna goriva in kako trdovraten bo boj za zamejitev njihove uporabe.



Slika 17: Ilustrirana zgodovina energetskih prelomnic.

## 2.7 Poraba energije v sodobnem svetu

Bruto poraba energije človeštva je v grobem produkt povprečne porabe energije na prebivalca in števila prebivalcev. V prejšnjih poglavjih smo videli, da so industrijske revolucije močno povečale industrijsko produkcijo in s tem tlakovale pot rasti števila prebivalcev. Že na ta način so industrijske revolucije povečale potrebe po energiji. Po drugi strani industrijska revolucija z novimi načini produkcije poveča produktivnost in relativno zniža potrebo po delu (energiji), vsaj glede na izplen, ki je običajno zajet v bruto družbenem proizvodu. Toda ta efekt je razmeroma kratkotrajen, saj povečana poraba izbriše te koristi, dosednji razvoj tehnologij pa je tudi povečini tekkel v smeri povečevanja potreb po energiji na osebo, kar tudi hitro zvišuje skupno porabo energije.

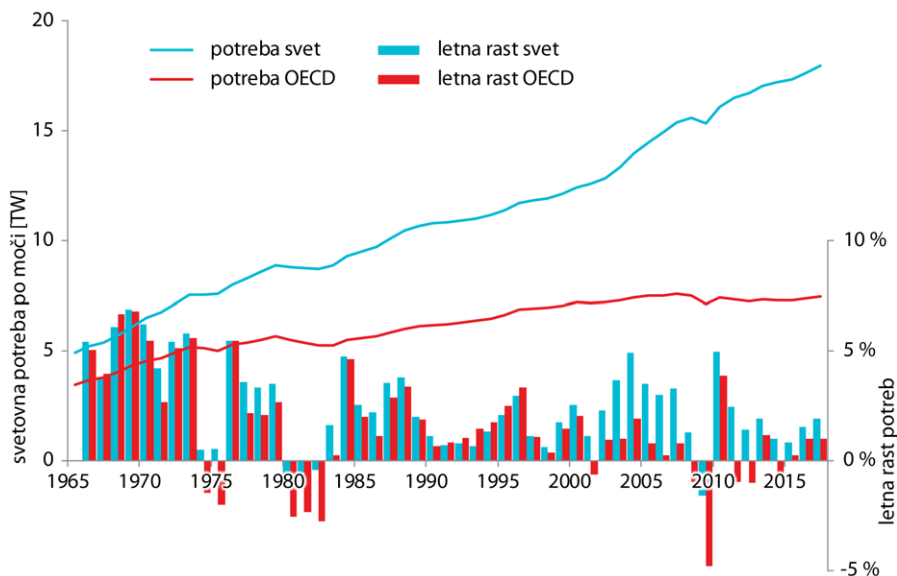


Slika 18: Svetovne potrebe po moči v zadnjih 70.000 letih (a), s poudarkom na zadnjih 10.000 letih (b) in letna rast potreb (c) (Agnoletti in Šerner 2014; E. Cook 1971; Smil 2018).

Slika 18 prikazuje globalno porabo energije človeštva od njegovega nastanka do danes. Ne glede na to, da je globalna poraba energije prikazana v logaritemski skali, nam graf kaže, da je rast energijske žeje naše civilizacije v zadnjih tisočletjih in predvsem stoletjih neverjetna. Časovna skala obsega obdobje med 70.000 let pred našim štetjem (torej nekje od pojava poljedelstva dalje) do danes. Posebej povečano pa je obdobje od 10.000 pred našim štetjem do danes, pri čemer je dodan letni porast porabe (graf v oranžni barvi, prav tako v logaritemski skali). Podatki so v nekaterih delih izpeljani iz obstoječih podatkov specifične porabe (Agnoletti in Šerner 2014; E. Cook 1971; Smil 2018), ki so pomnoženi s predvidenim prebivalstvom, pri čemer so podatki kritično vrednoteni v primerjavi z boljšimi, a časovno omejenimi podatki (Kander in dr. 2015). Za zadnja desetletja pa se naslanjam na uradne podatke (World energy consumption 2020; BP 2020; IEA 2020). Pri tem se je potrebno zavedati, da so podatki o energetski porabi pred našim štetjem precej nezanesljivi, kar je v grafu označeno s črtkano črto.

Pri prikazu rasti potrebe po moči (črta oranžne barve) so vidna nekatera večja praviloma globalna dogajanja, npr. zastoji rasti po uvedbi poljedelstva, vznik civilizacij po letu 5000 pr. n. št, vznik imperijev nekaj stoletij pred našim štetjem in razmah po industrijskih revolucijah, kjer je rast poskočila za celo magnitudo.





Slika 19: Globalna poraba energije v zadnjih desetletjih, vključno z letno rastjo (BP 2020).

Slika 19 prikazuje globalno porabo energije v letih 1965–2017 za ves svet (modro) in razvite države v OECD (rdeče) glede na podatke (BP 2020)<sup>12</sup>. Izrisane so tudi vrednosti letnega porasta porabe. Čeprav se poraba razvitega sveta ne povečuje več močno, pa k rasti porabe zdaj prispevajo države v razvoju. Hkrati je razvidno, da so bili pomembnejši padci v porabi energije posledica energijskih kriz in velike recesije, pri čemer so najbolj občutljive najrazvitejše države (OECD).

## 2.8 Poraba energije v prihodnje

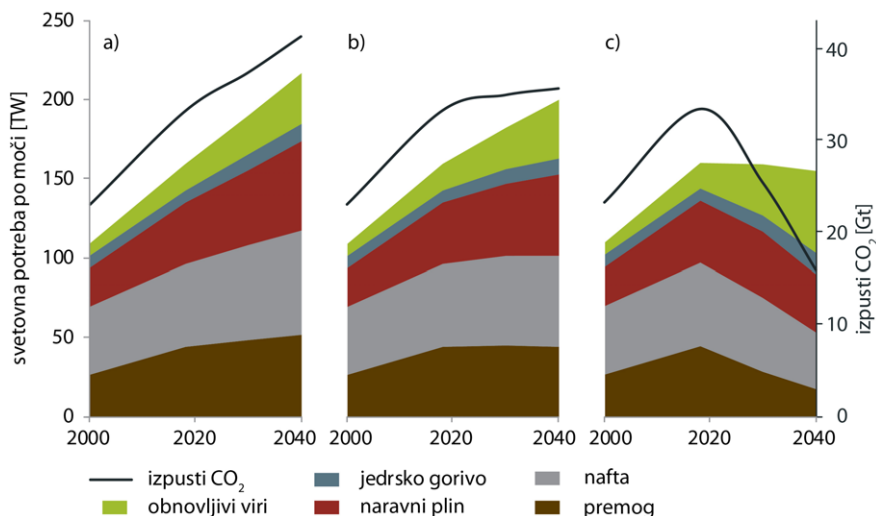
Že zgodovinski pregled porabe energije, ki smo se ga lotili v prejšnjih poglavjih, pokaže, kako težko je pridobiti že obstoječe podatke, če se različni viri med seboj zelo razlikujejo. To le kaže na dodatno zapletenost naloge napovedovanja bodoče porabe energije. Slednja je seveda odvisna od parametrov, ki smo jih raziskali doslej (razvoja in družbenega blagostanja, števila prebivalcev), ter še mnogih drugih dejavnikov (cene goriv, svetovne politične situacije ipd.). Vsi ti dejavniki se prepletajo – hiter

<sup>12</sup> Pri enakomerni porabi 1 kW bo naprava letno porabila 8760 kWh energije (eno leto ima 8760 h). Podobno gre v drugo smer, za letno porabo energije 1 GWh je potrebna enakomerna odjemna moč 114.2 kW.

ekonomski napredek pomeni pomanjkanje energije, ta višjo ceno, morda regionalne napetosti, kar se spet lahko sprevrže v ekonomski upad itn.

Ravno zaradi takšne razgibanosti so znanstveniki uporabili nekaj tipičnih scenarijev, ki pokažejo, kako se bodo lahko spreminjale prihodnje energetske potrebe. Scenariji so glede na (IEA 2020) naslednji<sup>13</sup>:

- (1) Obnašanje kot običajno.
- (2) Delovanje v skladu s sprejetimi okoljskimi zavezami.
- (3) Trajnostni razvoj z uresničenjem dodatnih zavez.



Slika 20: Svetove potrebe po moči in izpusti CO<sub>2</sub> v zadnjih dveh desetletjih ter napoved za prihodnji desetletji z razdelitvijo po tipu goriva. Primer za nadaljevanje s sedanjimi energetskimi navadami (a), ob delovanje v skladu s sprejetimi okoljskimi zavezami (b) in v skladu s trajnostnim razvojem z uresničenjem dodatnih zavez (c) (IEA 2020).

Slika 20 prikazuje prihodnje globalne porabe energije po zgornjih treh scenarijih. Narejen je razrez po virih: fosilna goriva (premog, nafta in plin), jedrska energija in obnovljivi viri, dodani pa so tudi izpusti CO<sub>2</sub>. V primeru prvega scenarija se količine energije in izpusti CO<sub>2</sub> hitro povečujejo. Drugi scenarij, ki upošteva zaveze različnih vlad, upočasnjuje rast koncentracij CO<sub>2</sub> z uvajanjem obnovljivih virov energije. Tretji scenarij pa ob obnovljivih virih predvideva tudi zmanjševanje porabe energije, pri čemer se bodo močno zmanjšale tudi koncentracije.

<sup>13</sup> Podobno scenarije klasificira tudi slovenski Nacionalni energetsko podnebni načrt oziroma NEPN (NEPN 2020).

Rast porabe energije po scenariju (2) v letih 2020–2040 znaša 1,2 % letno. Večji del tega je mogoče pripisati kar rasti prebivalstva, ki je bila že v letu 2019 1,05 % (UN 2020). Ker v drugem delu 21. stoletja pričakujemo krčenje prebivalstva, bo to vplivalo tudi na manjšo rast ali celo zniževanje porabe energije. Tak razvoj dogodkov pa je zato smiselno nadgraditi z ustrežno okoljevarstveno politiko obnovljivih virov in dodatnih energetsko učinkovitih rešitev za čimprejšnje zniževanje koncentracij CO<sub>2</sub> v atmosferi.



*Benetke so v preteklih desetletjih že močno občutile posledice podnebnih sprememb, predvsem zaradi dvigovanja morske gladine, ki skupaj s posedanjem lagunskega dna, pomeni veliko težavo turističnega bisera. Čeprav v laguni pred Benetkami že desetletja načrtujejo in gradijo morsko zaporo, bo dokončana šele v letu 2021.*

## 3

# ENERGIJA IN PODNEBNE SPREMEMBE

### 3.1 Podnebje in poraba energije

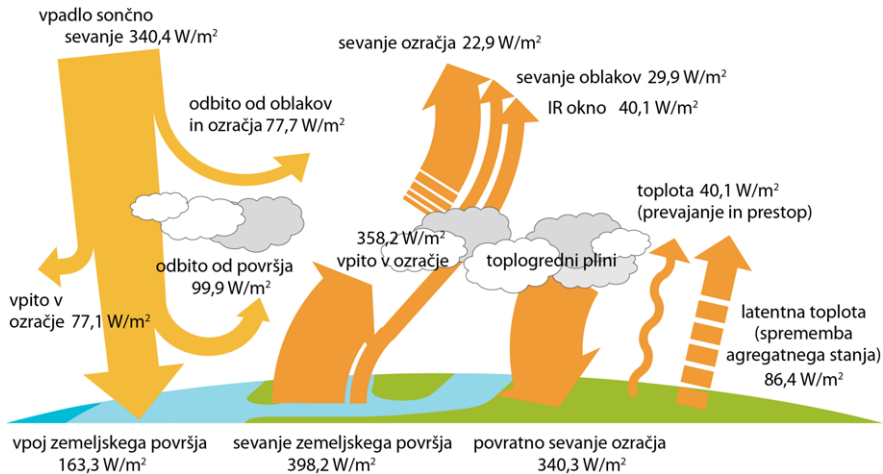
Vpliv energije, ki jo potrebujemo za vzdrževanje in tudi napredek človeške vrste, lahko določimo s pomočjo energijske bilance Zemlje. Ta se še najlažje razloži z energijsko interakcijo sonca/vesolja, zemeljskih tal in vmesnega ozračja. Za relativno ohranjanje temperature mora biti neto energijska bilanca enaka nič. Začnemo lahko s sevanjem sonca. Ta v zgornje sloje atmosfere v povprečju prispeva  $340,4 \text{ W/m}^2$ <sup>14</sup>. Slika 21 prikazuje energijske tokove Zemeljske toplotne bilance (Loeb in dr. 2009). Sevanje sonca se razdeli na del, ki doseže zemeljsko površino, in na odbiti ter vpiti del. V obratni smeri imamo sevanje zemeljskega površja, ki ga velik delež zaustavi ozračje in ga potisne nazaj proti Zemlji. Vseeno se v vesolje prenese del sevanja ozračja in oblakov, prav tako pa uide del infrardeče (IR) svetlobe, ki ga ozračje ne vpije (IR okno). K energiji ozračja prispevata še prevajanje in prestop toplote ter latentna toplota, ki nastane s kondenzacijo vodne pare nazaj v kapljevino.

Vsi večji sistemi – Sonce/vesolje, ozračje in zemeljska površina – so skorajda v idealnem ravnotežju. Edina razlika je neto presežek, ki ga vpije zemeljsko površje na račun oddajanja energije v vesolje. Ta razlika je le 0,2 % energijske bilance (oziroma  $0,6 \text{ W/m}^2$ ), kar pa je hkrati približno enako deležu energije, ki jo človeštvo porabi napram vsej vpadli sončevi energiji (več o tem v poglavju 2).

---

<sup>14</sup> Izsev Sonca je  $3,828 \cdot 10^{26} \text{ W}$ , Zemlja s premeroma 6378 km (ekvatorialni) in 6357 km (polarni) tvori osonečeno ploskev površine  $1,27 \cdot 10^8 \text{ km}^2$ . A ker je razdalja od Zemlje do Sonca (ena astronomska enota = AO) kar 149,6 milijona km, je celotna površina pokrita s sevanjem pri  $AO = 1$  kar  $2,81 \cdot 10^{17} \text{ km}^2$ . Zemlja torej prestreže le  $4,534 \cdot 10^{10}$  dela Sončevega sevanja oziroma  $1,74 \cdot 10^{17} \text{ W}$ . Če to količino razdelimo na celotno Zemeljsko površino, dobimo povprečje  $340,4 \text{ W/m}^2$ .

Nedavne raziskave kažejo, da se ta količina celo povečuje, kar prav tako prispeva k povečevanju globalnem segrevanju (Loeb in dr. 2021).



Slika 21: Shematski prikaz energijskih tokov zemeljske toplotne bilance. Debelina puščic ne odraža velikosti energijskega toka. Slika ne prikazuje neto vpoja  $0,6 \text{ W/m}^2$  zemeljske površine (Loeb in dr. 2009).

### 3.2 Res na hitro o podnebnih spremembah

Vreme je fizikalni popis situacije v atmosferi nad določenim območjem. Je razmeroma hitro spremenljiv dinamičen pojav, kot naročen za pogovore z neznanci in kratko čebljanje, da prebijemo led. Hitrost sprememb je takšna, da nas lahko na dolg vroč sončen dan preseneti nenadna ohladitev ali pa po dolgotrajnem dežju nenadoma posije sonce. Čeprav so razlike v vremenu med takšnima obdobjema ali med dnevom in nočjo razmeroma velike, pa so povprečja precej bolj stabilna. In ravno dolgotrajno povprečje vremena na določenem območju oblikuje njegovo klimo. Če bi hoteli slikovito opisati razliko med vremenom in klimo, bi lahko rekli, da trenutno vreme predstavljajo oblačila, ki jih imamo ta trenutek oblečena, klimo pa vsa oblačila, ki jih imamo v omari.

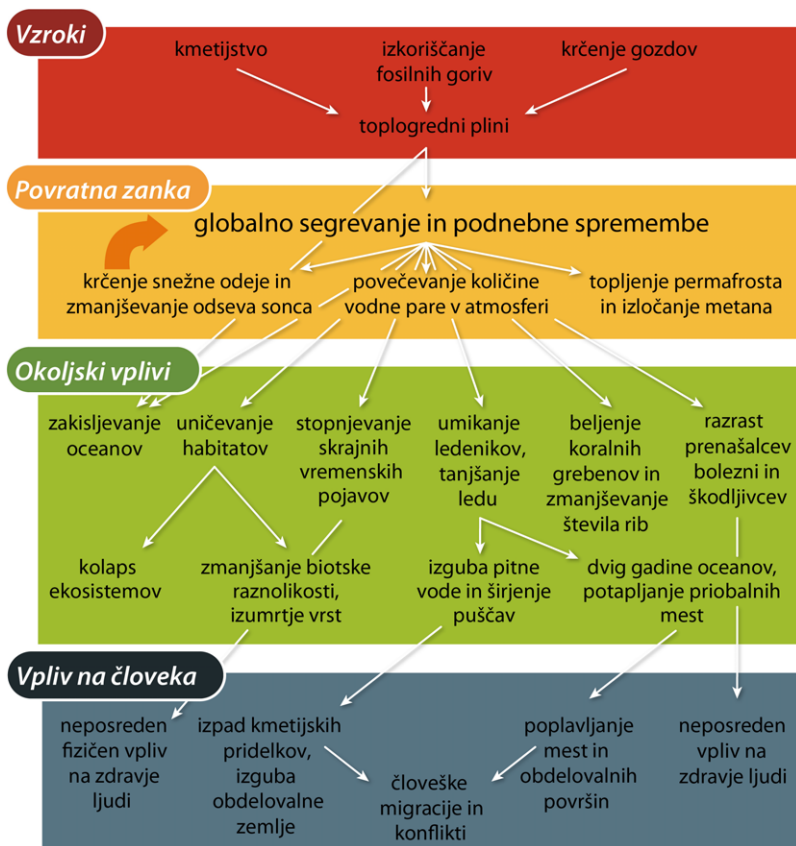
Ljudje smo sorazmerno dobro prilagojeni na kratkotrajne spremembe, precej manj pa na dolgotrajne. Še več, počasnost in sorazmerna majhnost sprememb veliko ljudi navdaja z občutkom, da je opozarjanje na podnebne spremembe še ena zastrašujoča taktika, ki jo ubirajo svetovne vlade, da bi prebivalstvo držalo v večnem primežu prestrašenosti (Uscinski in dr. 2017). Vendar lahko na spremembe temperatur gledamo tudi drugače. Zamislimo si potovanje, kjer se z avtomobilom ali

vlakom odpravljamo v toplejše kraje in pri tem opazujemo okolico. Že po dobri uri ali po stotih kilometrih začnemo opazovati, da se je spremenilo rastlinstvo in da je prilagojeno višjim temperaturam, hiše so drugačne, morda zaradi močnejšega vetra ali manj dežja in podobno. Torej že majhna razlika v povprečni temperaturi in majhne podnebne spremembe imajo lahko precej opazen vpliv (glej tudi poglavje 3.10).

Podnebne spremembe so globalne in že majhne razlike v lokalni povprečni temperaturi bodo povzročile precejšnje vplive na vremenske vzorce, ti pa na življenje nasploh (Buis 2019b). Povečanje povprečne temperature za 2 °C med drugim prinaša do poldrugi mesec trajajoče vročinske valove, upad preskrbe s pitno vodo za šestino, povečanje povprečne intenzitete nalivov za 7 %, spremembe v donosu poljščin, in sicer manj žita in več soje, in dvig morske gladine za 50 cm. Hkrati pa to pomeni, da bodo že tako ekstremni pojavi še ekstremnejši. Ob tem so spremembe tako počasne, da jih pravzaprav človek sam ne more zaznati, temveč za to potrebuje ustrezne merilne inštrumente in metode. Ravno zato so ljudje lahko skeptični do informacij o podnebnih spremembah, ki jih dobijo iz medijev, čeprav ta skepsa v luči znanstvenih dognanj ni upravičena. Hkrati je potrebno omeniti, da so bile tako temperature zemeljskega površja kot tudi koncentracija ogljikovega dioksida v ozračju v preteklosti že višje kot sedaj, zaskrbljujoče pa je dejstvo, da je hitrost tokratnih sprememb večkratnik hitrosti, kot jih je bilo mogoče opaziti v preteklosti (Geologic temperature record 2021).

V sedanji obliki podnebne spremembe oziroma globalno segrevanje povzročajo nalaganje toplogrednih plinov v atmosferi. Toplogredni plini, kot so ogljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ), vodna para ( $\text{H}_2\text{O}/\text{g}/$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), fluorirani ogljikovodiki, didušikov oksid ( $\text{N}_2\text{O}$ ) in žveplov heksafluorid ( $\text{SF}_6$ ), v našem ozračju povzročajo učinek tople grede. Pri tem sončnim žarkom, prvenstveno kratkovalovnemu sevanju, dovoljujejo vstop, ne dovoljujejo pa izstopa. Ti plini delujejo podobno kot zimska topla greda, ki omogoča gojenje zelenjave tudi hladnem obdobju leta, zato so tudi dobili takšno ime. A tu lahko pride že do prvega nerazumevanja. Toplogredni plini sami po sebi niso škodljivi, pravzaprav so za življenje na Zemlji še kako potrebni. Brez njih bi bila povprečna temperatura na Zemlji le še okoli  $-18\text{ °C}$  namesto sedanjih udobnejših  $+15\text{ °C}$ . Zmerna količina toplogrednih plinov je torej ne le koristna, temveč nujna. Seveda pa nastanejo problemi, če je v atmosferi teh plinov preveč. Naj nadaljujem s prejšnjo prisposobo, če spomladi ali v zgodnjem poletju, ko je sonce že zelo možno, pozabimo odpreti in zračiti našo toplo gredo, rastlinam grozi, da bo učinek prevelik in jih bomo enostavno izsušili oziroma ubili s toploto. Pravzaprav ni potrebno daleč, da bi videli globalni vpliv toplogrednih plinov, pogledati moramo le na sosednji Mars in Venero. Na Marsu je toplogrednih plinov premalo (pravzaprav ima zelo redko

atmosfero), zato je planet hladen s povprečno temperaturo  $-63\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na drugi strani je Venera, ki ima gosto in debelo atmosfero, v kateri prevladuje ogljikov dioksid. Tamkajšnji »račni«  
tlak na površju je skorajda stokratnik tlaka na Zemlji, zaradi česar so površinske temperature na Veneri okoli  $460\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Slika 22: Shema delovanja podnebnih sprememb (NASA 2019; US GCRP 2019; Pörtner in dr. 2019).

Za nalaganje toplogrednih plinov obstajajo trije glavni vzroki:

- vedno bolj obširno kmetovanje, tako obsežno poljedelstvo kot intenzivna živinoreja;
- ogromno koriščenje fosilnih goriv za energetske in druge potrebe ter
- krčenje gozdov.



Pri krčenju gozdov nastaja dvojna škoda, saj obsežna krčenja običajno potekajo s požigi, ki sproščajo veliko v les (biomaso) zajetega ogljikovega dioksida, hkrati pa tako ozemlje oziroma tamkajšnja vegetacija ne omogoča več ponora taistega plina. Kljub vsemu pa večino vplivov povzroča izkoriščanje fosilnih goriv, ki pokrivajo našo nenasitno slo po energiji.

Povečanje temperature ima tudi neželene pozitivne zanke (pozitivne v smislu, da posledica ojačuje vzrok in ta spet posledico): povečane temperature zmanjšujejo količino snežne odeje in ledu ter tako zmanjšujejo odsev sončne energije nazaj v vesolje, povečujejo izparevanje in s tem količino vodne pare v atmosferi ter taljenje permafrosta in izločanje metana. Taljenje permafrosta in izginevanje ledu pa bi lahko povzročilo tudi širjenje škodljivih organizmov, ki so bili doslej tisočletja zamrznjeni. Prav zadnja pandemija je pokazala, da človeštvo ni ravno odporno na morebitne nove epidemije (Boren 2020).

Drugi okoljski vplivi zaradi povišanja temperature so:

- zakisljevanje oceanov, ki ga neposredno povzročajo toplogredni plini, predvsem ogljikov dioksid,
- uničevanje habitatov favne in flore, kar povzroča zmanjšanje biotske raznolikosti ter izumrtje vrst,
- stopnjevanje skrajnih vremenskih pojavov (od daljših sušnih obdobij, poplav, pojava orkanov, požarov), kar ima neposreden fizičen vpliv na zdravje ljudi,
- umikanje ledenikov in tanjšanje snežne odeje, kar po eni strani spodbuja izgubo pitne vode in širjenje puščav, na drugi pa dvigovanje višine oceanov in posledično potapljanje številnih priobalnih mest,
- uničevanje koralnih grebenov in zmanjševanje raznovrstnosti in števila rib,
- razrast prenašalcev bolezni in škodljivcev z neposrednim vplivom na zdravje.

Ti okoljski vplivi pa vplivajo tudi na življenje ljudi:

- spremembe vremenskih vzorcev lahko povzročijo izgubo obdelovalne zemlje in izpad kmetijskih pridelkov,
- izguba pitne vode in širjenje puščav lahko povzroči uničenje kmetijskih pridelkov in izgubo kmetijskih površin,
- dvigovanje višine oceanov in potapljanje številnih priobalnih mest pa podobno lahko vodi do naraščajočih migracij in konfliktov.

Slika 22 shematsko prikazuje vzroke podnebnih sprememb, vplive na okolje in človeka ter medsebojne povezave (NASA 2019; US GCRP 2019; Pörtner in dr. 2019).

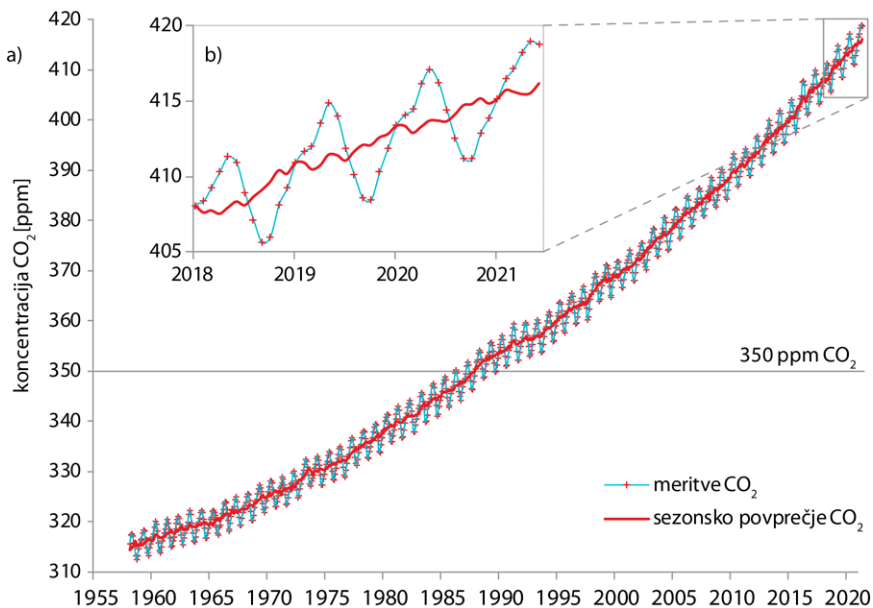
### 3.3 Kratka zgodovina globalnega segrevanja

Ljudje so že dolgo sumili, da človeška dejavnost lahko spremeni (vsaj lokalno) podnebje. O tem so razpredali že stari Grki (Neumann 1985), nekaj tisočletij kasneje pa tudi naši predniki (Panjek 2015), ki so jim Benečani za potrebe ladjevja in cerkva posekali celotno Istro in Kras, ob tem pa ugotavljali kako zmanjšanje obsega gozdov vpliva na padavine in erozijo tal v regiji. Seveda je bilo tedaj še nekoliko prezgodaj za antropogene spremembe, saj so takratno podnebje še obvladovale naravne sile. Odkritje ledenih dob v daljni preteklosti je dokazalo možnosti radikalnih globalnih podnebnih sprememb. Seveda je za boj proti podnebnim spremembam zelo pomembno, da vemo od kod izhajajo – so posledica človeške dejavnosti, na primer (pretirane) uporabe fosilnih goriv, posledica sončeve aktivnosti ali pa sporadičnih izbruhov vulkanov?

Prvi, ki je na znanstveni osnovi povezal velike količine fosilnih goriv (v tistih časih predvsem premoga) in ogromne količine ogljikovega dioksida, ki lahko povzročijo učinek tople grede, je bil leta 1896 švedski poliznanstvenik Svante Arrhenius (Weart 2008; John Mason 2020). Ideja je bila za tiste čase nenavadna, saj premog vsebuje tudi druge primesi, na primer žveplo, ki pa v navezi s kisikom tvori žveplovno kislino, ki v ozračju deluje ravno nasprotno – odbija sončne žarke še preden ti dosežejo površje. Čeprav je Arrhenius kasneje dobil Nobelovo nagrado za kemijo, pa je na področju globalnega segrevanja postal svojevrstna Kasandra, hči Priama, kralja Troje. Kasandra je imela nekoliko motečo navado, da je sporočala najbolj neverjetne napovedi, ki so se kasneje izkazale za resnične, a kaj ko ji pred tem nihče ni verjel.

Napovedi Arrheniusa je sledilo obdobje vojn, sredi prejšnjega stoletja pa se je spet obnovila zavzetost za raziskovanje variacij temperature. Še pred drugo svetovno vojno je na izpuste ogljikovega dioksida opozoril angleški inženir in izumitelj Guy Stewart Callendar, že sredi petdesetih let prejšnjega stoletja pa so opazovanja o segrevanju podnebja dobila svoje mesto tudi na straneh osrednjih tiskanih medijev (Kaempffert 1956; Revkin 2018). Kasneje se je meritev segrevanja lotil tudi ameriški kemik Keeling in pokazal stalno naraščanje koncentracije ogljikovega dioksida v ozračju (Keeling 1960). Po njem je tudi dobila ime Keelingova krivulja (Keeling Curve 2020), ki je eden prvih beleženj povečevanja koncentracije ogljikovega dioksida v atmosferi, ki jo merijo na vulkanu Mauna Loa na Havajih, približno 3000 metrov nad morsko gladino (slika 23). Krivulja ima dve znameniti značilnosti: prva je veliko sezonsko nihanje, ki obsega  $\pm 3$  ppm, druga pa je počasnejše a stalno naraščanje povprečja krivulje (Lindsey 2020). Prvo sezonsko značilnost pojasnujemo z letnimi časi na severni polobli: spomladi in poleti pride do razrasti rastlin, ki nase vežejo večje

količine CO<sub>2</sub>, jeseni in pozimi pa se z odmiranjem proces obrne. Stalno naraščanje pa enostavno pomeni povečevanje količine CO<sub>2</sub> v ozračju, ki mu tudi globalna flora ni več kos. Če je na začetku meritev (okoli 1960) povprečna vrednost naraščala za manj kot 1 ppm/leto, je tako v zadnjih desetletjih pohitrila na 2 ppm/leto, v letih 2017–19 2,5 ppm (ocena napake ± 0,1), leta 2020 se je zaradi vpliva pandemije COVID-19 hitrost rasti nekoliko umirila na le 2,3 ppm, vendar je koncentracija CO<sub>2</sub> po odpravi ukrepov spet začela hitreje rasti (COVID-19 pandemic 2021; Roser in dr. 2020).

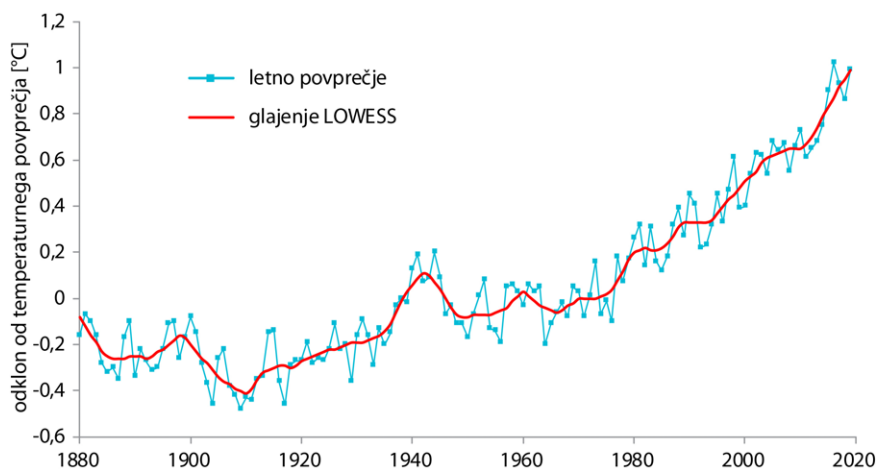


Slika 23: Koncentracija CO<sub>2</sub> merjena na vrhu Mauna Loe, ognjenika na Havajih, v letih 1958–2020 – Keelingova krivulja (Keeling in dr. 2005; Scripps 2020).

Na sliki je prikazana tudi meja 350 ppm CO<sub>2</sub>, pod katero naj ne bi prišlo do podnebnih sprememb (EEA 2008). Vsi napori za omejitve izpustov toplogrednih plinov so namenjeni prav znižanju koncentracij pod mejno vrednost 350 ppm.

Slika 24 prikazuje globalni temperaturni odklon od dolgoletnega povprečja, izmerjenega na kopnem v letih med 1880 in 2020. Pri tem lahko opazimo, da so letne spremembe (rdeči križci) razmeroma velike. Nekatera leta so hladnejša kot prejšnja, nekatera spet toplejša. A že zglajena krivulja (rdeča barva) pokaže bolj jasen trend, sploh v zadnjih desetletjih, ko si toplotni rekordi kar sledijo en drugemu.

V poteku te krivulje pa lahko najdemo tudi pojasnila za nekatere parcialne ocene, ki so nasprotovale ideji o globalnem segrevanju. Čeprav so znanstveniki odklone dodobra pojasnili, pa številne teorije zarote in podnebni skeptiki vztrajajo pri svojem ne glede na temeljitost pojasnil. Tako so v šestdesetih in sedemdesetih letih prejšnjega stoletja znanstveniki začeli opažati drugačen temperaturni trend, temperatura se je začela rahlo nižati, torej ravno nasprotno od tega, kar so kazali takratni precej grobi fizikalni modeli. A to umirjanje je trajalo sorazmerno kratek čas in so ga pripisali ključnim vlogam drugih onesnaževalcev, npr. žveplovemu dioksidu in prahu v atmosferi<sup>15</sup>, deloma tudi nihanjem v sončnem sevanju.



Slika 24: Odklon od temperaturnega povprečja na kopnem od leta 1880 do danes (GISS Surface Temperature Analysis 2020).

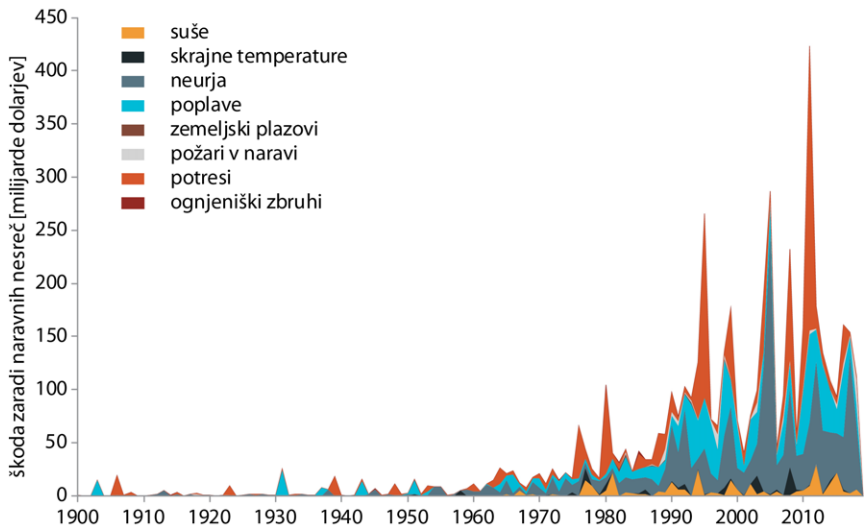
Nekoliko krajša umiritev rasti temperatur je opazna tudi v prvem desetletju novega tisočletja (slika 33), na kar so opozorili številni skeptiki. Tudi te odklone se da lepo pojasniti z naravnih nihanjem, saj ne podatki prej ne kasneje ne kažejo na umirjanje. Še več, skeptiki ignorirajo kasnejšo hitro naraščanje temperatur, ki globalno že presegajo 1°C več kot pred industrijskim obdobjem

V sedemdesetih in osemdesetih letih prejšnjega stoletja so bila nekatera naftna podjetja precej usmerjena v proučevanje globalnega segrevanja. Tako je ameriško naftno velepodjetje Exxon že leta 1977 v internem poročilu navedlo škodljive posledice izpustov toplogrednih plinov (Hall 2015; Supran in Oreskes 2017),

<sup>15</sup> Marsikdo se spomni Ljubljane iz osemdesetih in dolgotrajne strupene megle (glej tudi Eržen 2017; Pahor 2006)

podobno pa so ugotovili tudi v Shellu leta 1988 (Shell 1988). Konec osemdesetih let je prišlo do širšega spoznanja, da je globalno segrevanje dejstvo. Leta 1988 je v ameriškem kongresu pričal prof. Hansen iz NASE, izrazil je svoje 99 % prepričanje, da je globalno segrevanje posledica delovanja človeka. Hkrati se je zdelo, da o tem obstaja tudi globoko medstrankarsko soglasje.

Približno v tem času, torej nekje na začetku osemdesetih let prejšnjega stoletja, se je raziskavam globalnega segrevanja pridružila ameriška vojska, ki ji seveda ni bilo čisto vseeno, ali se v hladni vojni bori z Rusi ali tudi z vremenskimi pojavi (Gleick 2020). Svoj lonček so pristavile tudi zavarovalnice, ki so se začele pritoževati, da se povprečne škode glede vremenskih ujm neznosno hitro povečujejo, česar niso mogli pojasniti le z gospodarsko rastjo in kopičenjem bogastva (Leggett 1993; Mills 2009). Slika 25 prikazuje rast stroškov zaradi naravnih katastrof (npr. suš, obdobja s skrajnimi temperaturami, neurij, poplav, plazov, požarov v naravi, potresov in vulkanskih izbruhov) od leta 1900 dalje v milijardah dolarjev (OECD 2015; EMDAT 2020). Podatki o stroških za lažjo primerjavo že vključujejo preračun inflacije. Rezultati jasno kažejo porast stroškov po letu 1960. Del tega povečanja gre tudi na račun povečevanja števila prebivalcev in gradnje bivališč na manj primernih ozemljih. Prav tako velik delež stroškov povzročajo potresi, na katere podnebno segrevanje načeloma nima vpliva. Navkljub temu pa je videti, da močno naraščajo stroški zaradi pogostejših vremenskih ujm in s podnebjem povezanimi dogodki.



Slika 25: Število naravnih katastrof in nesreč zaradi človeške krivde od 1970 do 2014.

Za razliko od podobno razširjenih okoljskih kriz v preteklosti, na primer ob ozonski luknji, so bili napori nacionalnih vlad k aktivnejšem odzivu na podnebne spremembe razmeroma šibki. V teh okoliščinah so vajeti prevzeli Združeni narodi. Prelomnica je bila konferenca Združenih narodov o okolju in razvoju (UNCED), znana tudi kot Vrh Zemlje, ki je od 3. do 14. junija 1992 potekala v Riu de Janeiru. Vrh Zemlje je bil ustvarjen kot platforma državam članicam za sodelovanje pri nadaljnjih razvojnih vprašanjih. Ta so vključevala tudi iskanje virov energije za nadomestitev uporabe fosilnih goriv, povezanih z globalnimi podnebnimi spremembami. Pomemben dosežek vrha je bil dogovor o konvenciji o podnebnih spremembah, ki je zajemala redne letne konference (COP) Medvladnega foruma za podnebne spremembe (ang. Intergovernmental Panel on Climate Change ali IPCC). Te so nato privedle do Kjotskega protokola (COP 3) in Pariškega sporazuma (COP 21). Znotraj Medvladnega foruma, ki je koordiniral tako dogovarjanje kot napore kot so zagotavljanje kvalitetne in objektivne znanstvene podlage za spremljanje podnebnih sprememb ter ugotavljanje političnih in ekonomskih učinkov, je v letih 2002–2008 delovala tudi slovenska klimatologinja dr. Lučka Kajfež Bogataj. Ta si tako lahko lasti delček Nobelove nagrade za mir, ki jo je IPCC prejel leta 2007.

Nekaj let kasneje se je zgodbi pridružil *Al Gore*<sup>16</sup>, posnel odmevni film *Neprijetna resnica* in na koncu dajal vtis, da je podnebne spremembe odkril pravzaprav on sam<sup>17</sup>. Zaradi ameriških političnih trendov pa so morda ravno Goreovi nameni vnesli določeno dodatno skepso glede podnebnih sprememb med njegove politične nasprotnike, ki so Goru nasprotujoče argumente izrabljali za svoje politične cilje. Razrast tovrstnega dialoga oziroma pomanjkanje le-tega je skupaj z vznikom družbenih omrežij pomagal sprožiti gibanje zanikovalcev znanstvenih dognanj, med njimi tudi zanikovalcev podnebnih sprememb (Williams in dr. 2015).

---

<sup>16</sup> Avtor je imel srečo, da je v časih, ko podnebne spremembe še niso bile moderne, uspel sodelovati na Konferencah pogodbenic (ang. Conference of Parties ali s kratiko COP). Šesta konferenca COP (COP 6) je potekala med 13. in 25. novembrom 2000 v nizozemskem Haagu. Tam bi morala ameriška delegacija prav pod vodstvom Ala Gora predstaviti resnejše korake k izvrševanju še razmeroma svežega Kyotskega protokola, sprejetega le tri leta prej na COP 3. A zgodovina je hotela drugače. Zapleti z volitvami na Floridi so Alu Goreu odvzeli legitimnost za pogajanja in ga zaradi sodne bitke prikovali na domača tla, zato je začetno pozitivno vzdušje na Konferenci hitro upadlo in se razvleklo v poganjanja glede barantanja s koristmi (Kovač 2000a; Kovač 2000b).

<sup>17</sup> To je seveda karikatura ponesrečenega intervjuja iz leta 1999, kjer se je bežnemu bralcu zdelo, da si je Al Gore pripisal zasluge za iznajdbo interneta, kar so mu politični nasprotniki očitali še leta kasneje. Resda je bil Gore goreč podpornik novih tehnologij in je v svoji politični vlogi močno spodbujal razmah interneta in spleta, pa bi se vseeno lahko bolje izrazil.

Podnebne spremembe in njihova antropogena narava so sicer med klimatološkimi znanstveniki sprejete malodane soglasno<sup>18</sup>, kar potrjujejo tudi številne metaštudije klimatoloških modelov (Oreskes 2004). Drug pogled na podnebne spremembe podaja Bjørn Lomborg (Lomborg 2001), ki navaja, da so marsikateri dragi in obsežni ukrepi proti podnebnim spremembam premalo učinkoviti in bodo imeli le majhen vpliv na zniževanje naraščanja temperature. Hkrati tudi trdi, da so za usodo sveta veliko pomembnejši drugi problemi, na primer tropske bolezni, lakota ipd. Toda ta način razmišljanja se ne ukvarja z osnovnim problemom podnebnih sprememb, ki so nedvomno posledica prekomerne porabe fosilnih goriv.

Pri tem si je koristno podrobno ogledati delovanje nasprotnikov in zanikovalcev podnebnih sprememb. Omenili smo, da je v devetdesetih letih mednarodna skupnost pridobivala soglasje vseh akterjev o vzrokih in morebitnih rešitvah podnebne krize. Toda hkrati pa so, predvsem v ZDA, določena svetovalna podjetja, kot so Cato Institute, American Enterprise Institute, The Heartland Institute in druga začela lobirati pri vodjih vodilnih podjetij in nekaterih mnenjskih voditeljih zoper ukrepe proti podnebnim spremembam. To dogajanje precej spominja na zanikovanja izsledkov raziskav, da kajenje povzroča raka, ki si ga je nekaj desetletij poprej privoščila tobačna industrija (Psychology of climate change denial 2020), oziroma zanikovanja, ki so ga bili deležni raziskovalci ozonske luknje (Ellesøe 2020). Pri tem so zagovarjali energetska neodvisnost (na primer v ZDA s povečevanjem črpanja ameriške nafte) in uporabljali argumente, da je podnebno segrevanje lahko tudi koristno (na primer spodbuja rast rastlin). Šele kasnejše analize denarnih subvencij so pokazale, da so bila ta svetovalna podjetja v veliki meri podprta s strani naftne industrije (Ellesøe 2020). Globalno segrevanje se je tako delu politične sfere, ki je podpiral kapital, zdelo kot prenapihnjena skrb, ki je bolj kot skrbi za planet služila političnim ciljem uničenja velikega kapitala (Oreskes in Conway 2011). Večina podjetij, ki podpira kampanje proti podnebnim spremembam, pri tem navaja ostra neoliberalna stališča, in sicer da so proti regulaciji s strani (nad)države zaradi strahu pred vmešavanjem v poslovanje podjetja. Lep pregled celotnega protiznanstvenega pohoda je nedavno povzel Michael E. Mann (Mann 2021).

V dveh desetletjih so tako energetska podjetja za lobiranje namenila ogromne količine denarja. Ocene se gibljejo tudi prek 2 milijard dolarjev ali slabih 4 % vseh

---

<sup>18</sup> Nekaj deset znanstvenikov je leta 1995 sicer podpisalo Leipziško deklaracijo o podnebnih spremembah (The Leipzig Declaration on Global Climate Change 1995), v kateri dvomijo o le-teh, vendar so le redki med njimi klimatologi, številni pa so podpis zanikali oziroma ga niso potrdili v naslednjih različicah. Temu navkljub se organizacija SEPP, ki je skeptična do podnebnih sprememb, kiti s kar sto podpisniki deklaracije (Leipzig Declaration 2020).

lobističnih stroškov (Brulle 2018). Še več, zdi se, da se tempo le še stopnjuje. Največja svetovna podjetja so po Pariškem sporazumu investirala več kot 1 milijardo dolarjev za lobiranje in reklamo fosilnih goriv, samo za reklamiranje prek Facebooka pa naj bi namenile prek 10 milijonov dolarjev letno (InfluenceMap 2019). O verjetno napačnem načinu podpore naftni industriji pričajo tudi subvencije, ki jih je ta deležna. Glede na poročilo Mednarodnega denarnega sklada (Coady in dr. 2019) večvrstne subvencije obsegajo kar do 5,2 bilijona (5200 milijard) dolarjev ali kar 6,5 % svetovnega BDP, pri čemer se subvencije še povečujejo. Isto poročilo ocenjuje, da bi ukinitvev subvencij povzročila zmanjšanje porabe fosilnih goriv za 28 % in manjšo smrtnost zaradi onesnaženega zraka za kar 46 %.

Okoljevarstvenim paradigmam podjetja le delno sledijo. Evropske in tudi nekatere arabske naftne družbe vedno več svojih sredstev vlagajo v obnovljive vire (na primer Total skoraj 5 %), pri čemer pa delež ameriških in kitajskih podjetij, ki vlagajo v obnovljive vire, ostaja razmeroma majhen, pod 0,25 % (Fletcher in dr. 2018; Sperling in Fulton 2020).

Kako se s temi izzivi spopada Slovenija, je mogoče izluščiti iz rednih poročil projektov LIFE Podnebna Pot 2050 (ang. LIFE Climate Path) in LIFE IP CARE 4 CLIMATE, h katerim prispeva tudi avtor te knjige. V opozorilo – ker so poročila namenjena pretežno odločevalcem, so morda malo manj bravurozna in predvsem polna podatkov, kar morda presega obseg pisanja, kot sem ga zastavil tule. A vsekakor so izsledki na spletu pomembna postaja na poti iskanja pravih podatkov in razlag (LIFE 2017; LIFE 2019).

Podnebne spremembe so do sedaj v grobem poganjali naslednji vzroki:

- ekonomski razvoj, ki je zahteval vedno večje količine energije za zadovoljevanje potreb,
- hkratno povečevanje števila prebivalstva,
- naraščajoče potrebe po energiji, ki so se in se še vedno zagotavljajo z velikim deležem fosilnih goriv.

Vse to je skupaj privedlo do hitrega povečevanja izpustov toplogrednih plinov, kar je eden pglavitnih povzročiteljev podnebnih sprememb. Čeprav v tej verigi sodelujejo vsi deležniki, pa je odpravljanje verige smiselno (oziroma za nprav človeštva sploh možno) le, če čim manj posegamo v obstoječe civilizacijske dosežke. S sedanjim in bodočim razvojem tehnologije bi se dalo marsikateri člen verige razrahljati ali celo usmeriti v drugo smer.



### 3.4 Cena podnebnih sprememb

Eden od morebitnih razlogov, morda celo poglavitni, zakaj so ideje o podnebnih spremembah tako slabo sprejete, so nedvomno nedoločljive posledice. Ker so spremembe res počasne, govorimo o segrevanju za del desetinke stopinje na leto, o dvigovanju morja v morda milimetrih na leto, jih ljudje niti ne opazimo in so zato protiintuitivne. Prav ta počasnost pa daje občutek nenujnosti in s tem nepomembnosti (Swim in dr. 2009).

Posledice okoljskih sprememb na ljudi so lahko neposredne (vpliv na zdravje in življenje ljudi), is sicer nam grozi izguba življenjskega okolja (npr. s poplavljanjem, neurji), izguba kmetijskih površin oziroma obdelovalne zemlje, izpad ali uničenje kmetijskih pridelkov, izguba pitne vode ter naraščajoče migracije in konflikti.

Hkrati pa je škodo zaradi bodočih podnebnih sprememb zelo težko oceniti, saj to zahteva podatke o prihodnjih populacijskih trendih, ekonomski aktivnosti, porabi energije in izrabi tal. Na to seveda vplivajo tudi obseg in predvsem roki ukrepov za blaženje podnebnih sprememb. IPCC se je zato odločil za nekaj scenarijev, ki popisujejo stanje do konca stoletja. Scenariji se razlikujejo glede števila prebivalstva, mednarodnega sodelovanja in podobno. O akutnosti teme priča tudi nagrada za ekonomijo v spomin Alfreda Nobela<sup>19</sup>, ki so jo leta 2018 podelili Williamu D. Nordhausu in Paul M. Romerju za zasnovo metod za obravnavo dolgoročne trajnostne rasti v svetovnem gospodarstvu in blaginjo svetovnega prebivalstva (Hassler in dr. 2018).

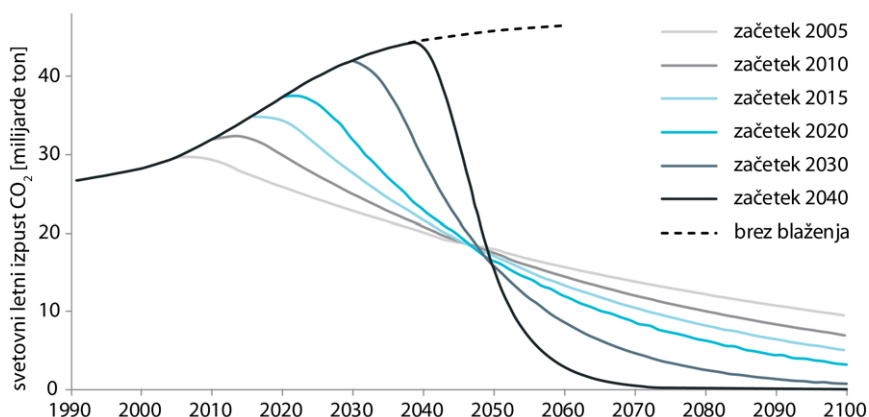
Slika 26 prikazuje globalne izpuste CO<sub>2</sub> glede na začetek uvajanja blažilnih ukrepov (Keohane in Goldmark 2008). Daljše odlašanje z odločilnimi ukrepi pomeni večjo potrebo po bolj drastičnih rešitvah v prihodnje. Drugi spet ocenjujejo, da bi lahko prehodno obdobje (samo)prilagajanja trajalo celo stoletja (Smith 2019). V primeru brez blaženja pa se lahko soočimo s totalnim kolapsom gospodarstva. V vsakem primeru pa je vpliv aktivnih ukrepov blaženja precej manjši kot bo cena neukrepanja oziroma soočanja s posledicami.

IPCC-jevi modeli ne kažejo le velikih razlik med posledicami populacijskih in ekonomskih trendov, temveč tudi glede posledic za revne in bogate države oziroma ekonomije. Do leta 2050 bo vpliv podnebnih sprememb na ekonomijo odnesel 3 % svetovnega BDP-ja, pri čemer škoda sega od 1,1 % v severni Ameriki in 1,7 % v Evropi do 3,8 % v latinski Ameriki in kar 4,7 % v Afriki (Galey, Patrick 2019). Do leta 2050 bi skupna škoda lahko znašala do 79 bilijonov dolarjev, kar je skoraj velikost sedanjega

---

<sup>19</sup> Popularno imenovana tudi Nobelova nagrada za ekonomijo, čeprav ni del izvirne peterice nagrad.

svetovnega BDP-ja, in sicer 87,7 bilijonov dolarjev (GDP 2020). Hkrati pa to ni nepomemben znesek, če ga primerjamo z vrednostjo celotne svetovne ekonomije, ki bi leta 2050 brez vplivov podnebnih sprememb dosegla 258 bilijonov dolarjev (upoštevajoč povprečno 3,5 % rast).



Slika 26: Globalni izpusti CO<sub>2</sub> glede na začetek uvajanja blažilnih ukrepov (Keohane in Goldmark 2008).

Iz te in podobnih študij (IEA 2010) lahko razberemo razlike v ceni ukrepanja in neukrepanja proti podnebnim spremembam. Večina študij tako kaže, da če v ukrepe pravočasno vložimo že manjši delež finančnega zneska morebitne škode, lahko škodo močno omejimo. prikazuje svetovne stroške do leta 2100 ob ukrepanju ali neukrepanju. S slike je razvidno, da s pravočasnim ukrepanjem lahko zmanjšamo (ublažimo) posledice podnebnih sprememb za dobro polovico.

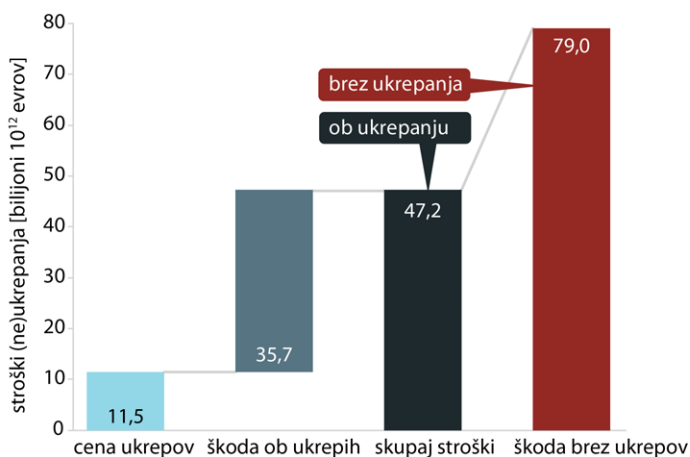
Preglednica 4: Stroški zaradi podnebnih sprememb v EU glede na presečna leta in scenarije (Watkiss in dr. 2019)

Leto		RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
2050	milijarde €	168	177	376
	delež	0,57 %	0,60 %	1,28 %
2080	milijarde €	525	725	2625
	delež	1,15 %	1,58 %	5,74 %

S podobnimi ocenami škode zaradi podnebnih sprememb je postregla tudi raziskava COACCH (Watkiss in dr. 2019), ki je bila izvedena v okviru projektov EU Horizon 2020 in je analizirala sektorske stroške. Največ škode povzročajo poplave, tako obalnega morja kot tudi rek. Iz te in podobnih študij (IEA 2010) lahko razberemo razlike v ceni ukrepanja in neukrepanja proti podnebnim spremembam. Večina študij tako kaže, da če v ukrepe pravočasno vložimo že manjši delež finančnega zneska

morebitne škode, lahko škodo močno omejimo. Slika 27 prikazuje svetovne stroške do leta 2100 ob ukrepanju ali neukrepanju. Razvidno je, da s pravočasnim ukrepanjem lahko zmanjšamo (ublažimo) posledice podnebnih sprememb za dobro polovico.

Preglednica 4 navaja ocenjene skupne stroške podnebnih sprememb v EU ter delež v celotnem evropskem BDP. Stroški so seveda močno odvisni od scenarija reprezentativnih potekov koncentracij (ang. Representative Concentration Pathway, RCP)<sup>20</sup>, torej kako hitro bomo uspeli zavezati podnebne spremembe oziroma izpuste toplogrednih plinov, pri čemer najneugodnejši scenariji pomenijo precejšen dvig stroškov, obenem pa čimprejšnje ukrepanje.

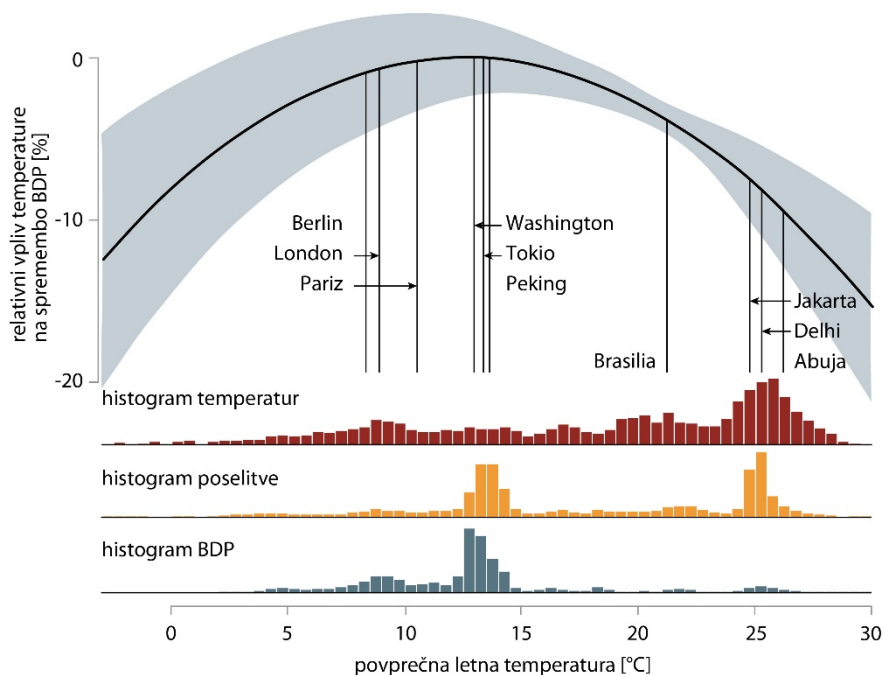


Slika 27: Cena svetovnih stroškov podnebnih sprememb v odvisnosti od ukrepanja ali neukrepanja od danes do leta 2100 (IEA 2010).

Pri tem je morda smiselno opozoriti, da je geografski položaj Slovenije specifičen in je izpostavljenost poplavam obalnega morja verjetno manjša, kot je evropsko povprečje, na drugi strani pa smo bolj izpostavljeni poplavljanju rek, o čemer pričajo vedno večje škode, o katerih se vse pogosteje poroča. Škoda zaradi poplav je znašala v Sloveniji v zadnjih 25 letih 1,8 milijarde evrov, kar je 0,3 % BDP-ja, pri čemer je v najhujšem letu (2014) segla celo do vsote 255 milijona evrov oziroma 0,65 % BDP-ja (Kučić 2018).

<sup>20</sup> Reprezentativni poteki koncentraciji je za uporabo v klimatoloških modelih privzel IPCC. Različni scenariji upoštevajo različne količine toplogrednih plinov, ki bodo izpuščene v prihodnjih letih glede na našo aktivnost. Številka v oznaki pa se nanaša na dodaten toplotni tok, ki ga bodo te dodatne koncentracije toplogrednih plinov dodale k toplotni bilanci, torej 2,6, 4,5, 6, in 8,5 W/m<sup>2</sup>.

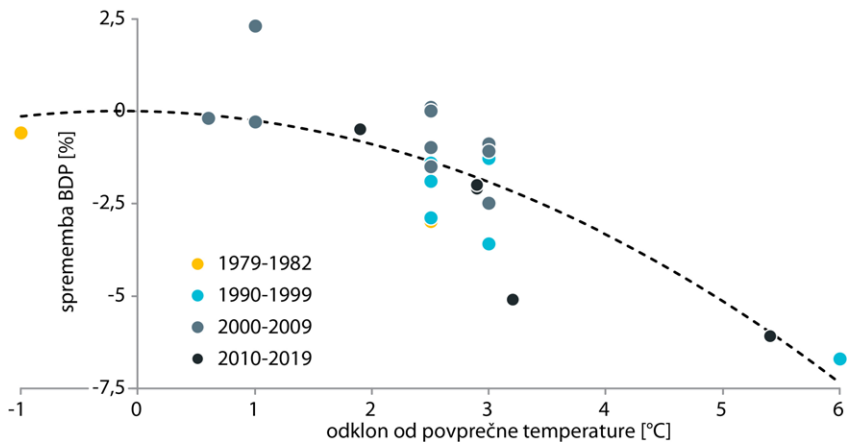
Stroški posameznih držav zaradi podnebnih sprememb do leta 2050 so za države EU ocenjeni v poročilu projekta COACCH (Bachner in dr. 2020). Ta navaja, da bo državam brez ustreznega prilagajanja BDP do leta 2050 padel za 0–5 %. Državam, ki se bodo prilagajale spremembam, bo BDP padel za 0–1 %. Podobne zaključke poda tudi precej obširna študija eksternih stroškov prometa, kjer so podnebne spremembe zaradi prometa ocenjene na 83 milijard evrov letno, pri čemer se ocenjuje, da je delež vpliva, ki ga ima promet na podnebne spremembe, nekje okoli 1/3 (European Commission 2019).



Slika 28: Relativni vpliv povprečne temperature na BDP in histogrami temperatur, poselitve ter BDP (Burke in dr. 2015).

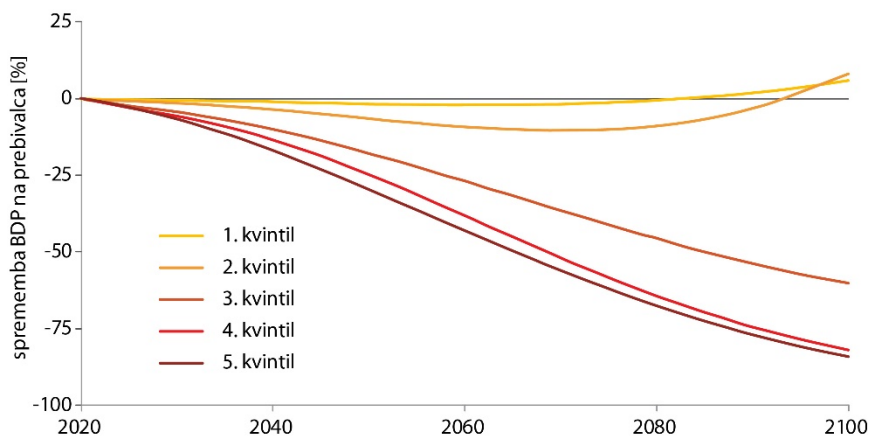
Na nelinearnost vplivov globalnega segrevanja opozarjajo številne študije (Burke in dr. 2015). Slika 28 prikazuje vpliv spremembe temperature na spremembe BDP-ja, pri čemer tudi študija poudarja pomen dodatnega razslojevanja, ki ga povzročajo podnebne spremembe. Za države s hladnim ali zmernim podnebjem globalno segrevanje ne bo tako pereče, za države z že tako vročim podnebjem, pa bo segrevanje pomenilo precejšnje težavo. Krivulja zgoraj prikazuje relativni vpliv povprečne temperature na spremembo BDP. Krivulja doseže vrh (0 % ali brez

relativnega vpliva) pri povprečni temperaturi 10-15 °C (zmerni pas), vsak odklon pa vpliv povečuje – v hladnejših oziroma toplejših podnebnih od zmernega je rast BDP prav zaradi vpliva povprečne temperature manjša. Pod krivuljo so označene povprečne temperature za glavna mesta nekaterih večjih držav. V spodnjem delu pa so nanizani histogrami temperatur, poselitve in BDP, ki kažejo porazdelitev le-teh v razdelkih po 0,5 °C. Čeprav je večina kopnega v vročem podnebnem pasu (rdeč histogram), pa sta vidna dva vrha poselitve (oranžen histogram) – tako v vročem kot tudi v zmernem pasu. Prav tako pa je vidna porazdelitev BDP (zelen histogram), ki ga je, ne glede na obseg ozemlja in njegovo poselitve, največ prav v zmernem pasu. Nekoliko zapleten graf pa omogoča tudi vpogled v morebitne posledice globalnega segrevanja. Za območja, ki so v zmernem pasu, bo vpliv spremembe povprečne temperature (t.j. pomik po horizontalni osi) na BDP komaj opazen, še več, relativni vpliv povprečne temperature se lahko celo zmanjša in tako blagodejno vpliva na gospodarsko dejavnost. Na drugi strani pa bodo države v že tako vročem podnebnju (na sliki desno, te države so praviloma tudi manj razvite) utrpeli sorazmerno več škode, saj ima enaka sprememba povprečne temperature večji (negativni) vpliv na BDP. Hkrati pa imajo te države zaradi slabše razvitosti na voljo tudi manj BDP-ja, kar bo njihove bodoče težave še dodatno stopnjevalo.



dodatno naraščajo. Pri tem je zanimivo, da so prvotne študije obravnavale razmeroma skromne dvige temperatur, novejša pa že upoštevajo tudi večje dvige. Po teh študijah socioekonomska škoda zaradi podnebnih sprememb znaša med 28 in 220 ameriških dolarjev na tonno ogljika<sup>21</sup>. Pri letnem izpustu približno 10 milijard ton ogljika torej stroški nanesejo na od 0,3 do 2,2 bilijonov dolarjev letno, kar potrjuje prej omenjeno IPCC-jevo oceno (79 bilijonov dolarjev skupnih stroškov do leta 2050).

Tovrstni modeli projicirajo, da bodo podnebne spremembe povzročile 3 % padec globalnih prihodkov do leta 2100, pri čemer lahko pričakujemo močno neenakomernost in še povečevanje globalnih razlik med bogatimi ter revnimi. Slika 30 prikazuje vpliv podnebnih sprememb na gibanje BDP per capita za kvintile svetovnega prebivalstva do leta 2100. Vpliv na najbogatejše je skorajda zanemarljiv, najrevnejših 60 % prebivalstva pa bo močno občutilo ekonomske posledice podnebnih sprememb.



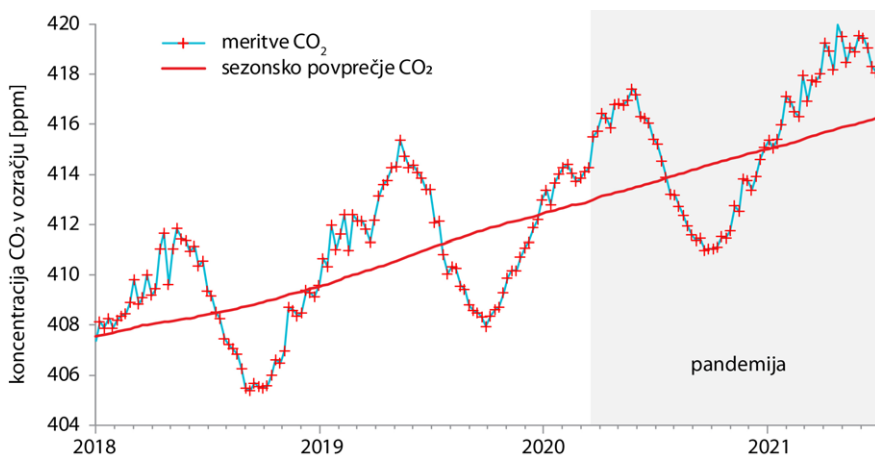
Slika 30: Sprememba svetovnega BDP na prebivalca do leta 2100 za kvintile prebivalstva glede na BDP.

Čeprav se zdi cena podnebnih sprememb visoka, pa bo človeštvo recimo pandemija koronavirusa SARS-CoV-2 stala med 8 in 16 bilijoni dolarjev (Schwab, Jeremy 2020), torej 10–20 % cene podnebnih sprememb do leta 2050. Še več, zadnje analize kažejo, da naj bi bilo za 16 bilijonov dolarjev škode le v ZDA (Rockeman, Olivia

<sup>21</sup> Ob upoštevanju globalnih izpustov CO<sub>2</sub> v višini 36 milijard ton (Ritchie in Roser 2020) in predvideni ceni kuponov, je mogoče okoljske stroške oceniti na 1,1–8,4 % DBP-ja. Zadnji znan skok cen kuponov v maju 2021 je ceno tone CO<sub>2</sub> potisnil prek 56 EUR (Carbon Emissions Futures Price 2021), kar ustreza 2,6 % BDP-ja. Z upoštevanjem izpustov še drugih toplogrednih plinov pa tako izračunani stroški dosežejo 3,7 % svetovnega BDP-ja.

2020). V obeh primerih so ogrožene ranljive skupine – v primeru podnebnih sprememb revni, v primeru pandemije koronavirusa SARS-CoV-2 pa starejši.

A globalna pandemija COVID-19 je pokazala še nekaj. Čeprav so se izpusti CO<sub>2</sub> v spomladanskih mesecih leta 2020 močno znižali (padci so ocenjeni na med 17 in 25 % na dnevni ravni in 4 do 7 % na letni ravni), pa je to imelo zelo malo vpliva na koncentracijo CO<sub>2</sub> v zraku (Le Quéré in dr. 2020; Liu in dr. 2020). Rezultat vse te zmanjšane gospodarske aktivnosti je bil le, da se je koncentracija CO<sub>2</sub> v letu 2020 povečala le za 2,3 ppm namesto poprejšnjih 2,5 ppm. Slika 31 prikazuje Keelingovo krivuljo za zadnjih nekaj let. Vrisane so tedenske meritve CO<sub>2</sub>. Z izvečeno zeleno črto pa je zarisano letno povprečje. Poudarjeno je časovno obdobje pandemije, pri čemer se sezonsko povprečje koncentracije CO<sub>2</sub> še vedno vztrajno dviga. To potrjuje temu, da je koncentracija CO<sub>2</sub> zelo dolgoživa<sup>22</sup>, na kar so znanstveniki opozarjali že pred epidemijo, in da le kratkotrajno omejena gospodarska aktivnost ne bo dovolj za spopad s podnebnimi spremembami.



Slika 31: Rast koncentracije CO<sub>2</sub> (Keelingova krivulja) v letih 2018–2021 z označenim obdobjem pandemije (Keeling in dr. 2005; Scripps 2020).

Opozoriti pa je potrebno še na to, da je večina obstoječih modelov, tako klimatoloških kot tudi ekonomskih, izrazito zveznih; modeli še lahko upoštevajo realni progresivnost oziroma kibernetško povratno zanko, ki je bodisi pozitivna (segrevanje še pospešuje; na primer izpust metana, zmanjševanje obsega gozda,

<sup>22</sup> Večina plinov v atmosferi razpade razmeroma hitro, drugače pa je s CO<sub>2</sub>, ki se lahko ohrani tudi od 300 do 1000 let (Buis 2019a).

razrast puščav in podobno) ali negativna (zaviranje segrevanja; na primer povečevanje sevanja v vesolje, vremenska neurja) (Climate change feedback 2021). Čeprav je možnost pozitivne povratne zanke razmeroma alarmantna, pa je možnost preloma oziroma nezveznosti še precej hujša, saj pride lahko v res kratkem času do ogromnih klimatoloških, geoloških in podobnih sprememb, ki jih je težko vnaprej oceniti (Bachner in dr. 2020; Wunderling in dr. 2021). Primer takšnega obnašanja je morebitno zamrtje Zalivskega toka (Shutdown of thermohaline circulation 2021). Posledice bi bile katastrofalne predvsem za Zahodno in Srednjo Evropo, ki jima Zalivski tok prinaša razmeroma blage zime. V primeru segrevanja ledenikov na Grenlandiji in severu Kanade bi vdor sveže sladke vode lahko zaustavil topel morski tok ob vzhodni obali ameriške celine. V tem primeru bi letne in predvsem zimske temperature precej upadle – večina zahodne Evrope je namreč na zemljepisni širini Kanade, Skandinavija pa celo na zemljepisni širini Aljaske. Čeprav je takšne dogodke razmeroma težko razumovati in še težje napovedati, pa teorije preloma v zadnjem času pridobivajo na pozornosti tako strokovne kot laične javnosti (Giger 2021).

### **3.5 Kaj je bilo prej: kura ali jajce, višja temperatura ali CO<sub>2</sub>?**

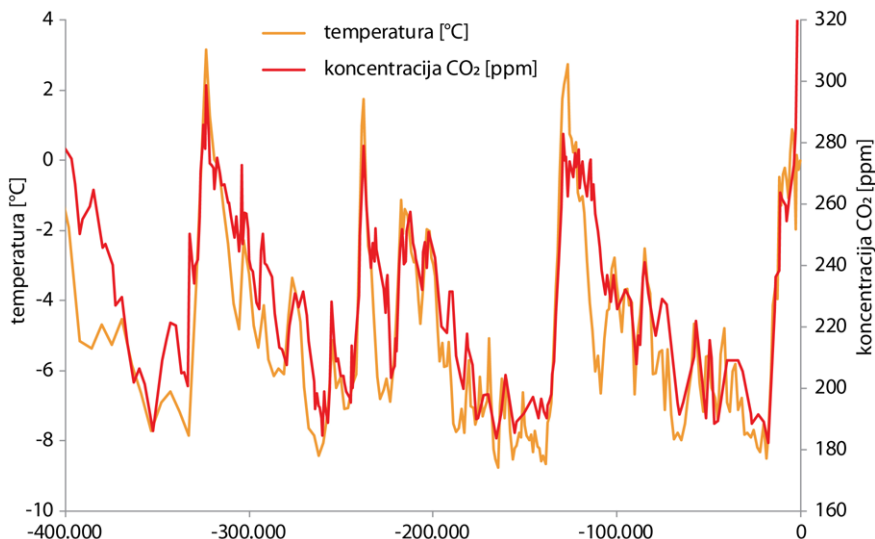
Slika 32 prikazuje temperature in koncentracije CO<sub>2</sub> v ozračju določene iz vzorcev ledu izvrtanega pod Rusko postajo Vostok na Antarktiki v obdobju od 400.000 let pr. n. št. do danes (Petit in dr. 1999). Obe skali sta izrisani tako, da kažeta prekrivanje obeh odčitkov. Vidna so štiri topla obdobja (eno sega v današnje dni), ki kažejo ujemanje s toplejšimi obdobji med ledenimi dobami.

Iz grafa je razvidno, da je v preteklih tisočletjih koncentracija CO<sub>2</sub> sledila dvigu in padcu temperature. To lahko razložimo z vplivom oceanov na koncentracijo CO<sub>2</sub>. Kot nam pojasnjuje Milankovičev cikel, se nagib zemeljske osi napram ekliptiki zmanjša, kar povzroči večjo sončno obsevanost in višjo temperaturo. S povišano temperaturo pride tudi do zmanjšanja sposobnosti oceanov, da zadržujejo oziroma vpijajo CO<sub>2</sub>, kar še dodatno zviša koncentracije CO<sub>2</sub> in spet poviša temperature. Zato že majhne razlike v nagibu zemeljske osi povzročajo velike temperaturne razlike. V sedanjem primeru pa so že same dodatne koncentracije CO<sub>2</sub> tako visoke, da povzročajo višanje temperatur brez vpliva nagiba osi. In tako se lahko pozitivna temperaturna zanka še poveča.

V zadnjih nekaj desetletjih pa opazimo hiter porast koncentracije CO<sub>2</sub>, ki prehitava dvig temperature. Hkrati je dvig koncentracije več kot desetkrat hitrejši kot je bil



največji dvig koncentracij v preteklosti. Pri tem se je smiselno vzpostavilo vprašanje o antropogenih vzrokih takšnih pojavov.



Slika 32: Temperature in koncentracije CO<sub>2</sub> v ozračju, določene iz vzorcev ledu, izvrtanega pod Antarktično postajo Vostok v obdobju od 400.000 let pr. n. št. do danes (Petit in dr. 1999).

### 3.6 Kdo je kriv za povišano koncentracijo CO<sub>2</sub>?

Človeška bitja smo v primerjavi s planetom precej krhka. Spomnite se vsake naravne nesreče, ki lahko še dandanes, vsemu nedvomnemu napredku znanosti navkljub, odnese na stotine ali tisoče življenj. Misel, da bi prav ljudje, ki smo pravzaprav neznatni v primerjavi z obsežnostjo rodnega planeta, lahko katastrofalno vplivali na stanje planeta – vsaj njegovega podnebne delu – se vsaj na prvi pogled zdi nerazumna (Kasprak in Evon 2015). Za mnoge je že sam koncept preveč spotikljiv, da bi se temu resneje posvetili, a to ne pomeni, da vprašanja ni potrebno raziskati. Zgodovinski podatki sicer kažejo, da so nekateri naravni pojavi, predvsem vulkanski izbruhi in v manjši meri veliki požari, zmožni močno vplivati na koncentracije ogljikovega dioksida v ozračju, vendar so te povečini lokalne in prav tako časovno omejene.

Tako znanstveniki ocenjujejo, da danes 150 znanih aktivnih vulkanov letno pridela nekje okoli 271 milijonov ton CO<sub>2</sub>, skupna vulkanska aktivnost (poleg vulkanov še izpusti vulkanskih jezer, izpusti oceanskih hrbtov ipd.) pa nekje okoli 645

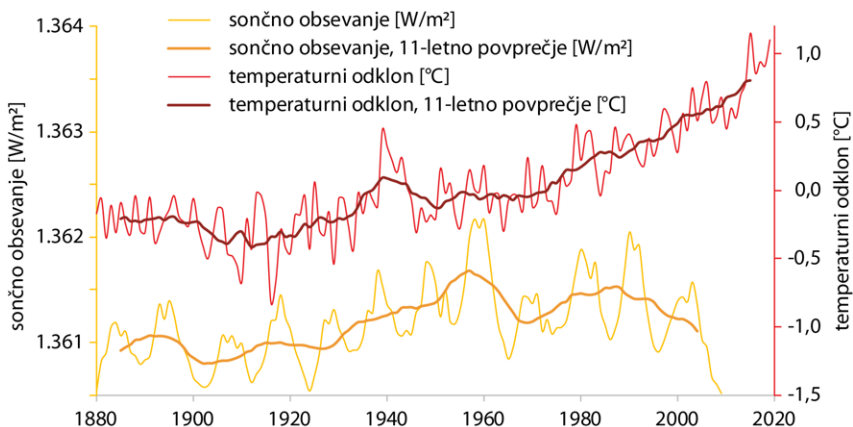
milijonov ton CO<sub>2</sub>, pri čemer ta usiha (Siegel 2017). Izpusti zaradi človekove aktivnosti pa znašajo vsaj 30 milijard ton letno. Še več, tudi največji izbruhi zadnjih stoletij, npr. slavni Krakatau v Indoneziji leta 1883 in Novarupta na Aljaski leta 1912, so v ozračje sprostil bori 18 oziroma 24 milijonov ton CO<sub>2</sub>, količino, ki jo sodobno človeštvo izpusti v manj kot enem poštenem delovnem dnevu.

Hkrati pa lahko sledimo tudi izvoru ogljikovega dioksida. Ogljik tvori kar petnajst izotopov. Večina med njimi je izredno kratkoživih in zatorej precej eksotičnih. Za nas so pomembni trije: <sup>12</sup>C in <sup>13</sup>C sta stabilna izotopa, pri čemer prvi tvori skoraj 90 % vsega ogljika, <sup>14</sup>C je radioaktivni izotop, do katerega pride z β-razpadom <sup>14</sup>N visoko v atmosferi. Ker se <sup>14</sup>C praviloma tvori le visoko v atmosferi, v fosilnih gorivih (ki so povečini pod zemljo) pa ne, spreminjajoča količina <sup>14</sup>C v CO<sub>2</sub> kaže na izvor le-tega. No, bi kazala, če ne bi v letih po drugi svetovni vojni prišlo do številnih preizkusov atomskih bomb v zemeljskem ozračju, ki so prav tako tvorili <sup>14</sup>C in tako kontaminirali metodo. Zato so znanstveniki začeli uporabljati izotop <sup>13</sup>C. Čeravno je ta stabilen, pa se njegova vsebnost v atmosferi in fosilnih gorivih razlikuje, pri čemer ga je v atmosferi malce več (za mizernih 20 promilov). Pri povečevanju količine CO<sub>2</sub> v atmosferi (glej sliko 2) pa se koncentracija izotopa <sup>13</sup>C zmanjšuje, kar kaže na to, da v atmosfero prodira »nov« CO<sub>2</sub>, ki je nastal pri rabi fosilnih goriv (Keeling in dr. 2005; NOAA 2020). Iz navedenega lahko sklepamo, da CO<sub>2</sub> v ozračju ni naravnega izvora – vulkanskih izpustov je enostavno premalo, koncentracija izotopov pa kaže, da večina CO<sub>2</sub> prihaja iz podzemlja – torej iz fosilnih goriv.

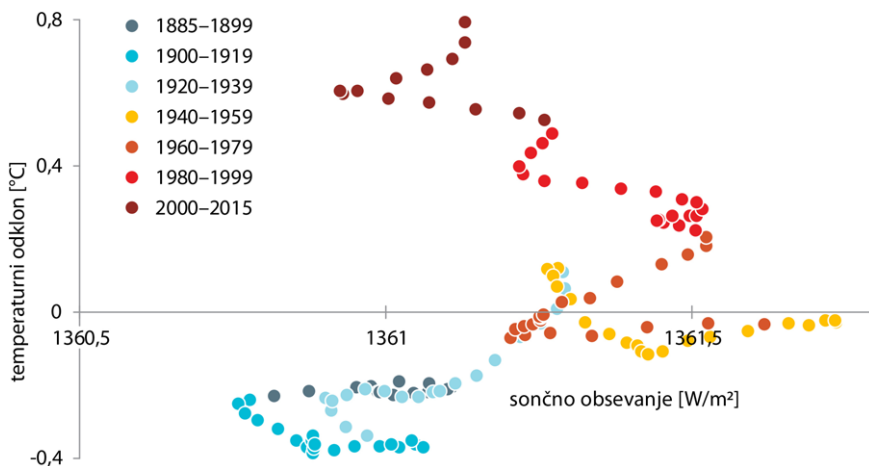
### 3.7 Kaj pa če je krivo Sonce?

Veliko večino energije našega Osončja preskrbi Sonce. Zato je smiselno preveriti, ali ni prav ono krivo za porast temperatur. Konec koncev je Milanković že pred stoletjem opazoval vpliv količine sončnega obsevanja na temperaturo (Milanković 1920). Obsevanje se v rednih intervalih spreminja zaradi nihanja zemeljske osi na kar vplivajo tudi drugi planeti. Milanković je ugotovil, da nagib osi povezan s sončnim obsevanjem, pomembno vpliva na zemeljsko klimo. Nemška klimatologa Köppen in Wegener sta Milankovićeve podatke primerjala s podatki zadnjih poledenitev na območju Alp in ugotovila precejšnje ujemanje (Köppen in Wegener 1924). Še kasneje je Milanković svoj izračun spreminjanja intenzitete sončnega sevanja v poletnih mesecih na krajih 65 stopinj severne širine še razširil na zadnjih 600.000 let, pri čemer so se obdobja najnižjega sevanja ujemale z obdobjem znanih ledenih dob.

Toda če pogledamo obstoječe stanje, bi morala v skladu z Milankovičevimi izračuni temperatura padati, saj Zemeljska os potuje k pokončnejšem položaju (napram ekliptiki). Tudi če spremljamo kratkoročna nihanja intenzivnosti sončne aktivnosti, ta prikaže drugačno sliko od meritve temperatur.



Slika 33: Sončno obsevanje in temperaturni odklon od leta 1880 do 2020 (NASA 2020a).



Slika 34: Sončno obsevanje in temperaturni odklon po letih od 1880 do 2020 (Hawkins 2016).

Slika 33 prikazuje sončno obsevanje na zemeljsko površino in temperaturni odklon od leta 1880 do 2020 (NASA 2020a). Poleg letnih meritev so podana tudi 11-letna povprečja, da se izognemo pulzirajoči aktivnosti Sonca. Do leta 1950

temperaturni odklon sledi povečani sončni aktivnosti, toda slednja v zadnjih petdesetih letih upada, temperaturni odklon pa narašča.

Še nazorneje je neposredna povezava med 11-letnima uteženima povprečjema sončnega obsevanja in temperaturnega odklona po letih prikazana na sliki 34. Pri tem sta po dve desetletji predstavljeni s svojo barvo. Podobno kot prej vidimo, da je do srede preteklega stoletja temperaturni odklon sledil povečanemu sončnemu sevanju, po tem pa se je temperatura dvigala navkljub zmanjševanju sevanja. Opazna so naslednja obdobja (Hawkins 2016):

- 1885–1919: obdobje kratkega ohlajanja, verjetno posledica vulkanskih izbruhov,
- 1910–1945: segrevanje, delno kot posledica okrevanja po vulkanskih izbruhih in deloma zaradi povečevanja sončnega obsevanja,
- 1950–1980: razmeroma uravnovešena temperatura zaradi vplivov sulfatov v atmosferi in posledičnega hlajenja,
- 1980–danes: močno segrevanje, opazen vpliv el Niña.

### 3.8 Modeliranje zemeljske klime

Modeliranje zemeljske klime ni nastalo šele s podnebnimi spremembami, temveč je potekalo že precej daleč pred tem, saj vse, ki jih lahko prizadenejo zunanje razmere, zanima, kaj se bo dogajalo v prihodnje. A z odkritjem podnebnih sprememb se je zanimanje za tovrstno delo razumljivo močno povečalo. Kot pri vsaki znanosti pa se je tudi tukaj potrebno zavedati zmogljivosti tovrstnega modeliranja. Znanost temelji večinoma na matematičnih modelih, ki poskušajo kompleksno naravno obnašanje kar najbolje popisati s kompleksnimi enačbami, ki jih še znamo razrešiti. Posebnih napotkov ni, ampak v misli pride ideja Alberta Einsteina<sup>23</sup>: Vse mora biti tako preprosto, kot je le mogoče, toda ne bolj. Torej model mora popisovati tiste vstopne podatke, ki so nujni za naš rezultat. Sliši se preprosto, toda ni čisto tako. Kaj recimo vpliva na temperaturo pod sosedovo češnjo: Sonce? Oblaki? Veter? Vlažnost zraka? Ura? Letni čas? Ali je vrt ograjen ali ne? Pa včerajšnji podatki? Kaj pa predvčerajšnji? Pa če nas ne zanima le češnja, temveč sosednja jablana? Vplivnih parametrov je en kup in nič čudnega ni, da vreme ni popolnoma enostavno napovedljivo (Fry 2019). Napovedi klimatoloških (temu bi lahko rekli povprečnih) razmer pa so še nekoliko

---

<sup>23</sup> V celoti je citat naslednji: »Dokončni cilj vsake teorije je, da naredi neodpravljlive osnovne elemente tako preproste in tako maloštevilne, kot je to le mogoče, ne da bi s tem žrtvovala ustreznost opisa kateregakoli izkustvenega podatka.« (Albert Einstein – Wikinavedek 2018)

težje. Kakorkoli že, klimatologi so sestavili kar nekaj modelov, ki upoštevajo široko paleto vplivov napovedi. Vsi ti modeli se redno preverjajo, pa tudi popravljajo. Korekcije so pomembne zaradi novih spoznanj ali popravljanja starih napak, ki se nam včasih pretihotapijo v preračun. Najbolj pomembno pa je, da so tako podatki kot tudi modeli javno dostopni in tako podvrženi znanstveni kritiki.

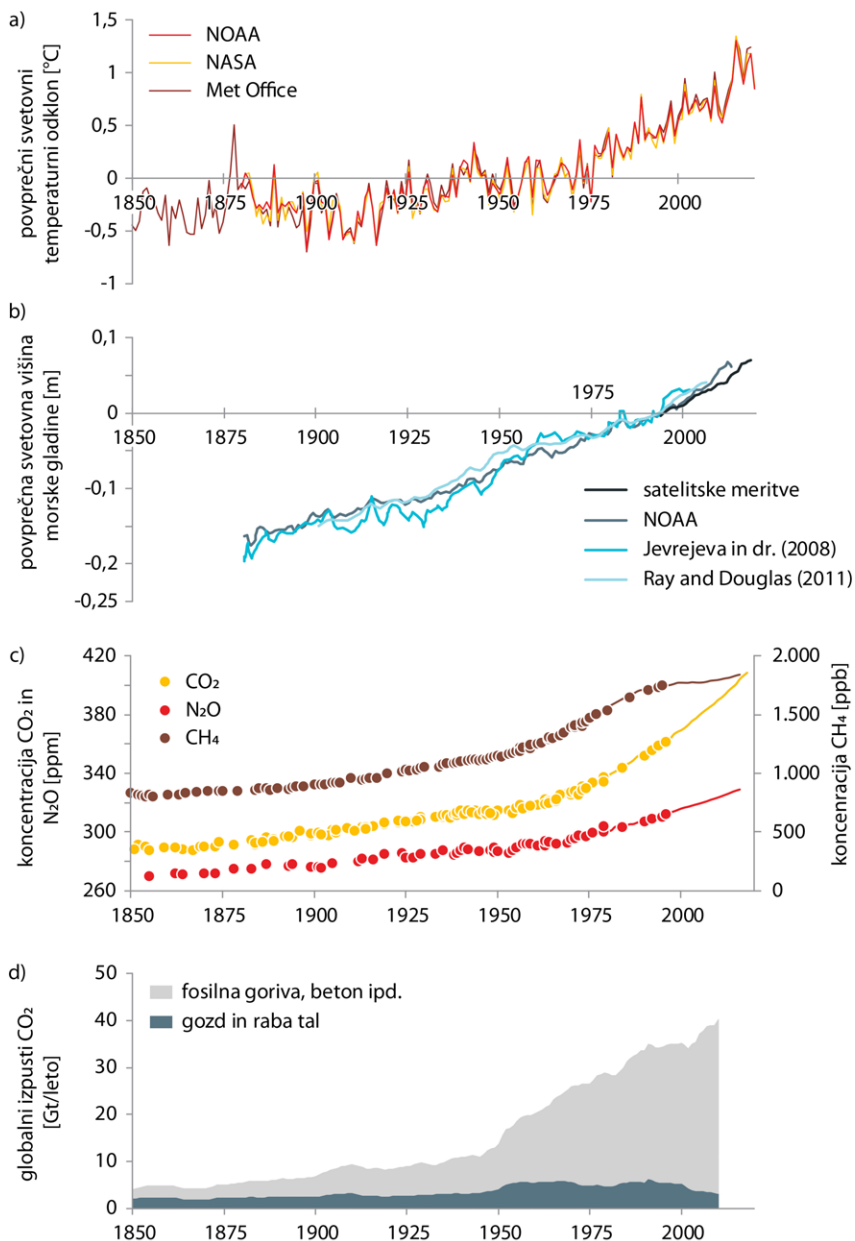
Ker klimatologija ni moje področje, vas za bolj poglobljeno branje o tej tematiki lahko napotim na nekatere druge znanstvene članke in monografije, ki so navedene v naslednjih treh podpoglavjih. Reference na nekoliko širše poglede pa lahko najdete v poglavju 5.1.

### **3.8.1 Pristop I: Polni modelski pristop**

Polni modelski pristop je izračun bodočih podnebnih pogojev z izjemno kompleksnim modeliranjem. Na srečo so takšni modeli zbrani pod vodstvom IPCC (Medvladne skupine za podnebne spremembe), pri čemer na njihovih spletnih straneh najdete tudi koristne interaktivne predstavitve petega sinteznega poročila (IPCC 2014). Za zahtevne bralce je na voljo tudi najboljšežnejša inačica (Pachauri in Meyer 2020), katere pogloblitve rezultate prikazuje slika 35:

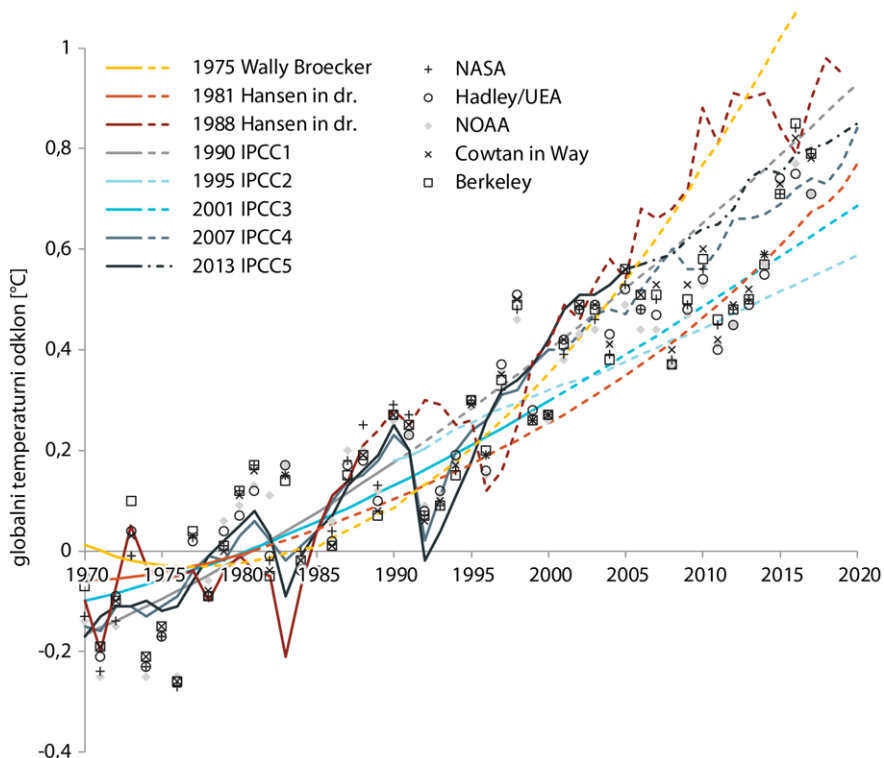
- globalni temperaturni odklon (odklon povprečne temperature površine morja in kopnega od dolgoletnega povprečja; različne barve označujejo različne nabore podatkov),
- globalno spremembo gladine morja (različne barve označujejo različne nabore podatkov, grafi so usklajeni z letom 1993 in začetkom rednih satelitskih meritev,
- globalne koncentracije toplogrednih plinov – ogljikovega dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>) in didušikovega oksida (N<sub>2</sub>O) ter
- izvor antropogenih izpustov CO<sub>2</sub>.

Podobne povzetke ima tudi ameriška vesoljska agencija NASA (NASA 2020b). Za poljuden, a razmeroma temeljit vpogled v znanstveno argumentacijo podnebnih sprememb v slovenščini, vas lahko napotim tudi na predavanje *Fizika podnebnih sprememb* (Zaplotnik 2021) ali članek *Razumeti podnebne spremembe* (Zaplotnik 2020). Verjetno pa boste na stotine podobnih strani našli tudi z vašim priljubljenim spletnim iskalnikom.



Slika 35: Poglavitni rezultati petega sinteznega poročila Medvladne skupine za podnebne spremembe: povprečni globalni temperaturni odklon, povprečna globalna višina morske gladine, koncentracije CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O in CH<sub>4</sub> (pike označujejo podatke določene iz ledu, črte iz atmosferskih meritev) ter globalni izpusti CO<sub>2</sub> (IPCC 2014).

Raziskovanje in analiza podnebnih sprememb ter projekcija njihovih rezultatov v prihodnost ima kar pestro zgodovino, zato je tudi precej zanimivo, kako dobro so se obnesle projekcije iz preteklosti. Prvi modeli so bili seveda precej enostavni, kasnejši pa praviloma vedno bolj in bolj kompleksni. A tudi že prvi modeli iz sedemdesetih let so dobro napovedali razmerja med izpusti toplogrednih plinov in dvigom globalne temperature (Harvey 2019). Seveda se projekcije in njihova točnost razlikujejo, toda konsistenca je spodbudna (Buis 2020).



Slika 36: Primerjava meritev in projekcij od leta 1970 do 2020 (Hausfather in dr. 2020).

Slika 36 prikazuje več priznanih meritev globalnega temperaturnega odklona: meritve NASA (GISS Surface Temperature Analysis 2020), Hadley (Met Office Hadley Centre observations datasets 2021), NOAA (Global Surface Temperature Anomalies 2021), Cowtan in Way (Cowtan in Way 2021) in Berkeley (Berkeley Earth Data Overview 2021); so označene z znaki. Nadalje slika prikazuje tudi ustrezne modele: Wally Broecker (Broecker 1975), Hansen in dr., (Hansen in dr. 1981) in IPCC (IPCC 2021) so označeni z izvečeno črto. S črtkanimi črtami pa so označene takratne projekcije

modelov (Hausfather, Zeke 2017a). Iz grafa je razvidno, da so novejšje projekcije nekoliko točneje, kar je seveda pričakovano (Hausfather in dr. 2020).

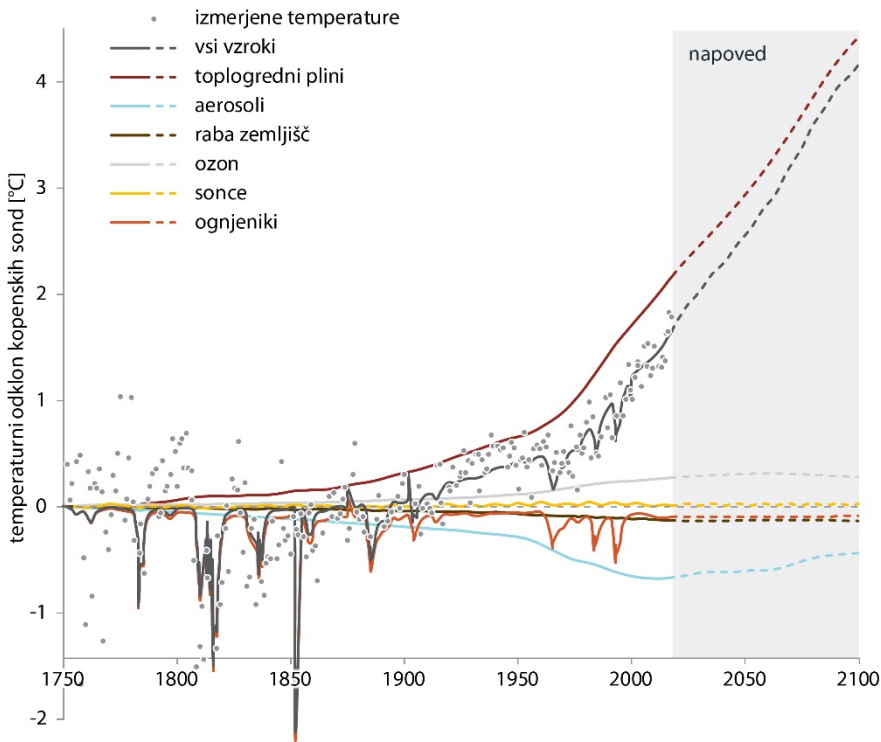
Na podlagi zgornjega grafa in pojasnila lahko opazimo, da se modeli dodobra prekrivajo (Climate Lab Book 2014). Še več, novejšje projekcije so kot po pravilu natančnejše. Poleg tega pa znanstveniki uporabljajo še druge metode preverjanja modelov, na primer projiciranje nazaj (J. Cook 2018) – v tem primeru model poženejo v preteklost in preverjajo, kako dobro se tovrstne projekcije ujemajo z dogodki, ki so se že zgodili. Tudi tu so se modeli navkljub njihovi kompleksnosti ali prav zaradi nje zelo izkazali.

### **3.8.2 Pristop II: Statističen pristop**

Naslednji način pristopa je statističen in klimatografijo obravnava kot skupek niza številčnih odčitkov. S sodobno statistiko lahko te odčitke ločimo po posameznih vplivih. Ta pristop pa ima eno pomembno pomanjkljivost, zato se ga resni znanstveniki le neradi poslužujejo. Korelacija namreč še ne pomeni vzročne povezave, nekaterim humorim poizkusom navkljub (Vigen 2015). Namreč statističen pristop išče le ponavljajoče ali podobne vzorce, ne pa razloge za njih. Tako lahko ugotovimo, da sta si določena procesa ali nabora podatkov podobna, iz statistike pa ne moremo sklepati, kaj je vzrok.

Eden zanimivejših je statistični podnebni model (Haustein in dr. 2017), ki so ga razvili Karsten Haustein in kolegi iz Univerz v Oxfordu in Leedsu in temelji na večnivojskem modeliranju prašnih delcev, Zeke Hausfather pa je rezultate predstavil tudi na bolj poljudnoznanstveni način (Hausfather, Zeke 2017b). Slika 37 kaže primerjavo meritev in rezultatov modela Haustein et al., vključno s projekcijami do leta 2100. Model obsega tako antropogene (toplogredni plini, aerosoli, uporaba zemljišč) kot tudi naravne vplive (sonce, vulkani, ozon). Rezultati kažejo zelo dobro ujemanje projekcij modelov s podatki. Vidno je povečevanje temperatur v drugi polovici dvajsetega stoletja, pri čemer na to večinoma vplivajo toplogredni plini. Model v prihodnosti predvideva stabilizacijo neto solarnega prispevka na  $6 \text{ W/m}^2$  (Masui in dr. 2011).





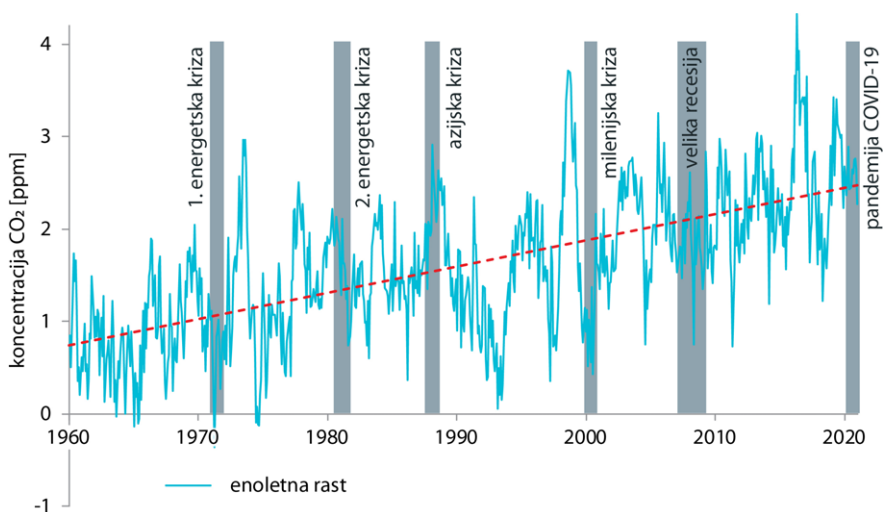
Slika 37: Primerjava meritev in rezultatov modela Hausteina in kolegov za temperaturni odklon na kopnem za ves svet v obdobju do leta 2100 (Hausfather, Zeke 2017b).

### 3.8.3 Pristop III: Fermijeva metoda<sup>24</sup>

Klasični romaneskni detektivi rešujejo primere tako, da ugotavljajo ali je osumljenec imel motiv in sredstvo. Če smo motiv za podnebne spremembe že našli, to je naša

<sup>24</sup> Fermijeva metoda je demonstrativno hiter in približen izračun, ki pokaže v katero smer se bo gibal odgovor. Ime je dobila po enem najslavnejših znanstvenikov – Enricu Fermiju, ki je pri svojem delu zelo uspešno koristil takšne in podobne izračune, kjer je kompleksna vprašanja razdelil na vrsto enostavnejših izračunov in prek številnih faktorjev hitro ocenil magnitudo rešitve. Drugo ime zanjo je tudi izračun na ovojnici (ang. *Back-of-the-envelope calculation*), pri čemer pomanjkanje prostora narekuje močno poenostavljen izračun. Najbolj znan primer uporabe metode je ocena števila uglaševalcev klavirja v širši okolici mesta Chicago (tam je Fermi namreč živel in tudi poučeval). Razmišljanje gre nekako takole: Kjer živi približno 9 milijonov ljudi, v povprečju dva na gospodinjstvo, pride en klavir na 20 gospodinjstev. Klavir se uglašuje enkrat letno, za kar uglaševalec potrebuje približno dve uri (skupaj s potjo), pri čemer vsak uglaševalec dela osem ur na dan, pet dni na teden in 50 tednov na leto, kar zneso:

nenasitna želja po energiji, pa se je smiselno na hitro ozreti po naslednjem potrebnem pogoju: sredstvu. Sprašujemo se torej, ali človeštvo sploh proizvede dovolj toplogrednih plinov, da bi se to sploh poznalo in na kak način hitro oceniti, ali je človeški vpliv na poviševanje koncentracije CO<sub>2</sub> res precenjen? To lahko naredimo z enostavno plinsko bilanco. Količina ogljikovega dioksida, ki ga spustimo v ozračje, se mora odražati na meritvah, to nam prikazuje npr. Keelingova krivulja (slika 23).



Slika 38: Letna rast koncentracije CO<sub>2</sub> in letna amplituda Keelingove krivulje (Keeling in dr. 2005; Scripps 2020).

1. S primerjavo zgodovinskih vrednosti Keelingove krivulje lahko izračunamo sezonske pomike (slika 38) in nihanja v koncentraciji CO<sub>2</sub>. Amplituda znaša približno 7,1 ppm in se zlagoma povečuje, letno povečanje povprečja  $\delta$  pa znaša 2,5 ppm/leto (pri čemer z leti narašča). Na podlagi tega lahko sklepamo,

$$9000000 \text{ oseb} : \frac{2 \text{ osebi}}{\text{gospodinjstvo}} \cdot \frac{1 \text{ klavir}}{20 \text{ gospodinjstev}} \cdot \frac{1 \text{ ugaševanje}}{\text{klavir}} = 225000 \text{ ugaševanj letno}$$

$$50 \frac{\text{tednov}}{\text{leto}} \cdot 5 \frac{\text{dni}}{\text{teden}} \cdot 8 \frac{\text{ur}}{\text{dan}} : 2 \frac{\text{uri}}{\text{klavir}} = 1000 \text{ ugaševanj letno}$$

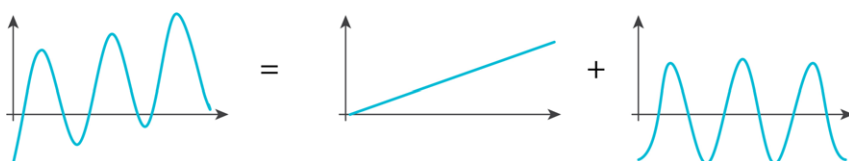
$$225000 \text{ ugaševanj letno} : 1000 \frac{\text{ugaševanj}}{\text{ugaševalca}} = 225 \text{ ugaševalcev}$$

Leta 2009 je bilo v Chicagu približno 290 ugaševalcev klavirja. Fermi je za svoje delo na področju radioaktivnosti leta 1938 prejel Nobelovo nagrado.

da mora biti izpust antropološkega CO<sub>2</sub> vsaj enak temu povečanju, saj sicer tega plina ne bi bilo dovolj.

Morebiti je za nerazumevanje človeškega prispevka k rasti koncentracij CO<sub>2</sub> kriv tudi močan vpliv vegetacije, ki se kaže kot sezonsko nihanje. Namreč spomladi in poleti se na severni polobli več CO<sub>2</sub> veže v rastočem se rastlinju, kot pa ga gnijoče rastlinje odda na južni atmosferi, kjer tedaj vladajo jesensko-zimske razmere (Monroe 2013).

Zato je za ugotavljanje rasti koncentracije CO<sub>2</sub>, zaradi antropogenega delovanja potrebno upoštevati sezonska povprečja, ki izniči vpliv vegetacije. Uporabljen model je tako sestavljen iz letnega pribitka in sezonskega nihanja (slika 39).



Slika 39: Model porasta koncentracije CO<sub>2</sub> (Scripps 2020).

Podrobno statistično dekompozicijo modela koncentracij CO<sub>2</sub> s strojnim učenjem je mogoče najti tudi v drugih delih (Rasmussen 2021).

2. Količino neto letnega izpusta CO<sub>2</sub> dobimo, če letni prirastek množimo s težo vse zemeljske atmosfere:

$$m_{CO_2} = m_{atm} \cdot \delta$$

3. Maso atmosfere lahko izračunamo iz njene gostote in prostornine, slednjo pa iz zemeljske površine in debeline atmosfere:

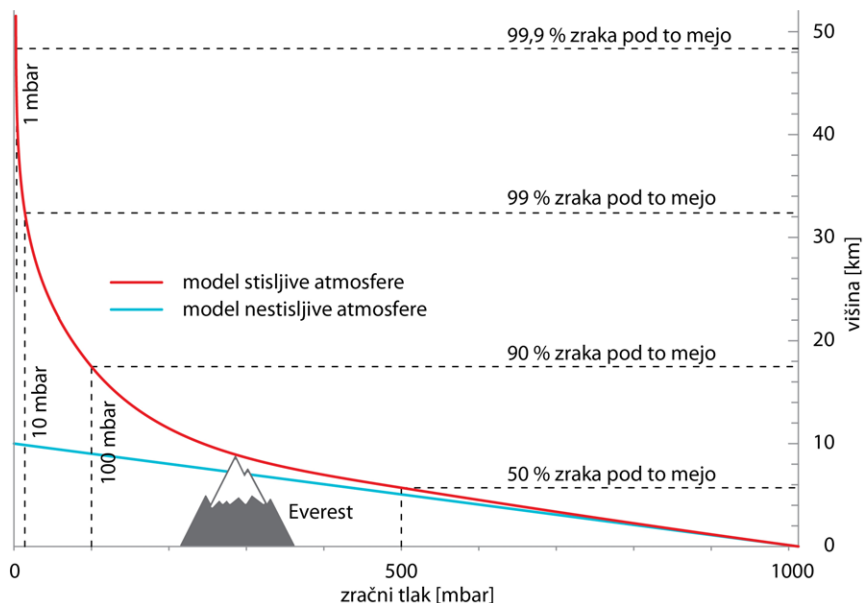
$$m_{atm} = \rho_{atm} \cdot V_{atm} = \rho_{atm} \cdot P_z \cdot h_{atm}$$

4. Čeprav se gostota atmosfere z višino spreminja, lahko za naš primer uporabimo model nestisljive atmosfere. Slika 40 prikazuje razliko v različnih modelih atmosfere, in sicer realne in nestisljive (NASA 2014).
5. Model z nestisljivo atmosfero predvidi enako gostoto vse do vrha in s strogo ločnico med atmosfero in vesoljem. Višino atmosfere tako dobimo na naslednji način:

$$h_{atm} = \frac{p_{0m}}{\rho_{atm} \cdot g}$$

Pri upoštevanju  $\rho_{atm} = 1,3 \text{ kg/m}^3$ ,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  in  $p_{om} = 1,013 \text{ bar}$ , dobimo  $h_{atm} = 7943 \text{ m}^{25}$ .

Z upoštevanjem zemeljske površine, ki znaša  $P_Z = 5,10 \cdot 10^8 \text{ km}^2$  dobimo  $V_{atm} = 4,05 \cdot 10^9 \text{ km}^3$  in maso  $m_{atm} = 5,267 \cdot 10^{18} \text{ kg}$ , kar je le 2,5 % manj, kot je pravi podatek ( $m_{atm} = 5,148 \cdot 10^{18} \text{ kg}$ ).



Slika 40: Model realne (rdeča črta) in nestisljive atmosfere (modra črta) (prirejeno po NASA 2014).

- Človeštvo po statističnih podatkih porabi skoraj 150.000 TWh energije letno (Ritchie in Roser 2014), pri čemer skoraj 90 % tega predstavljajo fosilna goriva. Količino teh izpustov lahko ocenimo tudi na ta način in bo odvisna od »izkoristka« procesa zgorevanja  $\vartheta$ , ki za fosilna goriva znaša 0,2–0,41 kg  $\text{CO}_2/\text{kWh}$  (Quaschnig 2020):

$$m_{\text{CO}_2}^{\text{out}} = E_{\text{fosil}} \cdot \vartheta = E \cdot \delta_{\text{fosil}} \cdot \vartheta$$

- Za letno proizvodnjo energije torej izpustimo  $m_{\text{CO}_2}^{\text{out}} = 40 \cdot 10^{12} \text{ kg}$  ogljikovega dioksida letno. To je skladno s podobnimi ocenami iz literature, na primer od  $36 \cdot 10^{12} \text{ kg}$  (Ritchie in Roser 2021) do  $43 \cdot 10^{12} \text{ kg}$  letno (ICOS 2021). Količina

<sup>25</sup> Ker pa je atmosfera realno z višino vse redkejša, se napaka povečini poravna z večjo debelino atmosfere, kar prinese razmeroma malo skupno napako (Atmosphere of Earth 2020).

antropogenega CO<sub>2</sub> je sicer večja od količine, ki se vsako leto naloži v naši atmosferi, toda kot smo že poudarili, preprosta metoda ne upošteva ponorov (Nuccitelli in dr. 2012). Ta razmeroma enostaven preračun pa zadovoljivo pojasnjuje ogromne količine CO<sub>2</sub>, ki jih izpuščamo v ozračje.

8. Letni izpusti CO<sub>2</sub> predstavljajo 7,8 ppm mase celotne atmosfere. Ob upoštevanju, da je CO<sub>2</sub> nekoliko gostejši od zraka ( $\rho_{CO_2} = 1,98 \text{ kg/m}^3$ ) in predpostavki o nestisljivi atmosferi, lahko njegov volumen prevedemo na plast debeline 6,0 cm. Toliko CO<sub>2</sub> vsako leto naložimo v atmosfero. Morda je izrek, da nam voda teče v grlo, nekoliko pretiran, toda po teh podatkih nam malodane v grlo teče CO<sub>2</sub>. Spet drugi CO<sub>2</sub> v ozračju primerjajo s toplo odejo, ki ogreva Zemljo. Ta topla odeja postaja iz leta v leto toplejša. Če ne bi bilo odstranjevanja CO<sub>2</sub> s ponori (ki jih v preračunu nismo upoštevali), bi v 650 letih prišli do koncentracije 0,5 %, ki je meja dovoljene količine CO<sub>2</sub> na delovnem mestu (SIST 2001), in približno 14.000 letih do koncentracij, ki povzročajo smrt (Permentier in dr. 2017).

Ocenujem, da so napake pri izračunu lahko velikosti od nekaj do največ 10 odstotkov, a vseeno veliko premalo, da bi lahko glede na preračun utemeljevali (ali celo pletli zarote), da nihanja koncentracije CO<sub>2</sub> verjetno niso posledica človeških vplivov. Prav tako se povečevanje porabe energije lepo ujema s povečevanjem sezonske amplitude Keelingove krivulje (slika 23).

### 3.9 Komu verjeti?

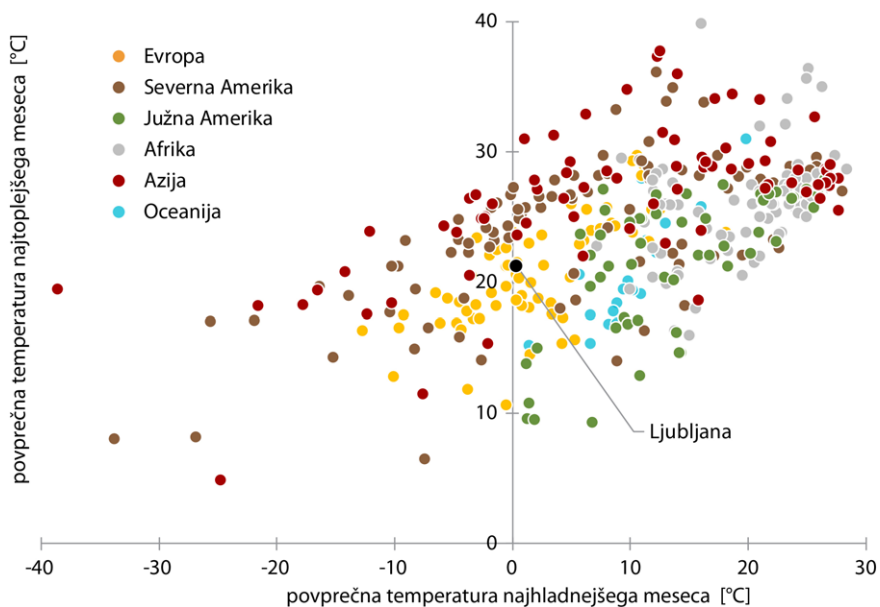
Predstavljeni so bili kar trije pristopi k obravnavanju podnebnih sprememb – od polnokrnega modelskega pristopa, ki zahteva zelo podrobno znanje s številnih področij, prek statističnega, ki morda doseže boljšo natančnost, a težko določi vzročno-posledične relacije, do izjemno poenostavljenega, ki skorajda na nivoju analogij obravnava delček celote. A prav slednje je še najlažje razumljivo laiku. Morda ni odveč pojasnilo, da večina podnebnih skeptikov uporablja tretjo, torej najpreprostejšo metodo.

Vprašanje, kateri pristop je pravi, je odvisen od sposobnosti in/ali pripravljenosti občinstva, da sprejme predočene informacije in jih morebiti kasneje kritično obdelata. Navedeni pristopi se seveda razlikujejo glede na zapletenost njihovih modelov, večja zapletenost pa lahko pomeni tudi manjšo verjetnostjo za pravilno razumevanje modela in njegovih rezultatov.

V našem primeru so vsi trije pristopi resda komplementarni, saj podpirajo tezo o globalnem segrevanju in človeških vzrokih za to, kar je tudi pretežno znanstveno soglasje in osebno mnenje. Šele ob detajlnem vpogledu v vse tri pristope se nam razjasni pomen vsebine Einsteinovega citata, ki namiguje na hkratno prepletenost preprostosti in kompleksnosti postopka.

### 3.10 Koliko kilometrov je ena stopinja Celzija?

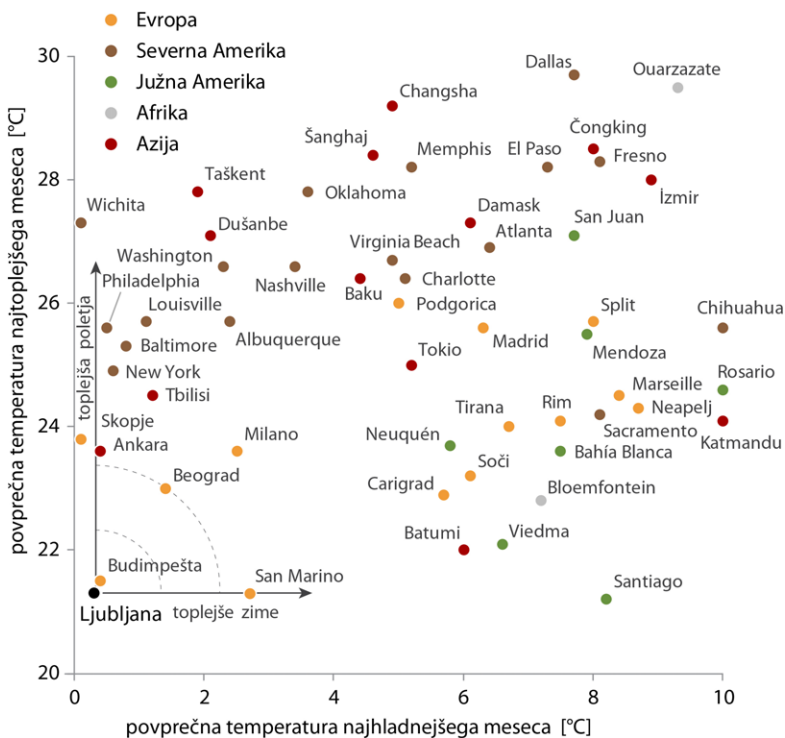
Ljudje smo vajeni spremenljivosti vremena, zato precej slabo opazimo spreminjanje podnebja in si tako včasih težko predstavljamo, kaj konkreten dvig povprečne temperature za stopinjo ali dve pravzaprav pomeni. Zato je smiselno izdelati res preprost podnebni model, ki vsebuje le dva parametra – povprečno zimsko in poletno temperaturo. Podatke o dolgotrajnih povprečjih nekaterih večjih svetovnih mest najdemo na internetu (List of cities by average temperature 2020).



Slika 41: Povprečna temperatura najtoplejšega in najhladnejšega meseca za nekaj sto pomembnejših svetovnih mest vseh celin (Kovač 2021).

Če za značilna parametra vzamemo kar najvišjo in najnižjo povprečno mesečno temperaturo (za severno poloblo praviloma kar julijsko in januarsko), dobimo za vsako mesto temperaturni par. Slika 41 prikazuje takšne temperaturne pare za vse

celine: evropska mesta so v rumeni barvi, severnoameriška v rjavi, južnoameriška v zeleni, afriška v sivi, azijska v rdeči in mesta v Oceaniji v svetlo modri (Kovač 2021). Južna Amerika in Afrika imata več tropskega podnebja, zato so zimske in letne temperature podobne, tako je je več njihovih mest na desni strani grafa. Malo manj izrazito to velja za Oceanijo. Razlike v Evropi so nekje zmerne, zato so evropska mesta na sredini (s krogcem je označena tudi Ljubljana), severnoameriška in azijska mesta pa so pretežno na levi strani, z izrazitim celinskim podnebjem in z velikimi razlikami med najtoplejšimi in najhladnejšimi temperaturami.



Slika 42: Povprečna temperatura najtoplejšega in najhladnejšega meseca za mesta, ki so toplejša od Ljubljane (Kovač 2021). Črtkana kroga prikazujeta območje s spremembo temperature 1 °C oziroma 2 °C.

Rezultati klimatoloških modelov za Slovenijo (ARSO 2018) za leto 2100 so seveda močno odvisni od različnih scenarijev rasti izpustov toplogrednih plinov. V rezultate so vključeni trije scenariji: scenarij z vključenim hitrim in izrazitim blaženjem podnebnih sprememb (RCP 2.6), stabilizacijski scenarij z upadanjem koncentracija okoli leta 2045 (RCP 4.5) in scenarij z zelo visokim izpustom toplogrednih plinov

(RCP 8.5). Razpon rezultatov za Ljubljano sega od segrevanja za 1,2 do 1,4 °C po RCP 1.6 vse do segrevanja za 3,6 do 4,1 °C po RCP 8.5.

Slika 42 prikazuje mesta, ki imajo podobne oziroma nekoliko višje najnižje in najvišje temperature kot Ljubljana, ki je označena posebej. Podnebne spremembe povzročajo dvig temperatur, tako letnih kot zimskih. To si v grafu zamislimo kot potovanje našega mesta. Če se povečujejo najvišje temperature, potujemo v grafu navzgor. Če se povečujejo najnižje, pa potujemo v grafu desno. Ker se povečujejo obe temperature, v realnosti temperaturni par drsi diagonalno. Če preračunamo obe temperaturi, se nam leta 2100 obeta "podnebna selitev" Ljubljane v Beograd (po scenariju RCP 2.6), Milano (RCP 4.5) ali Tokio oziroma Podgorico (RCP 8.5). Na podlagi teh rezultatov vsak dvig temperature za eno stopinjo Celzija prinese selitev mesta za približno 100 km južneje (to velja za razmere v Evropi, kjer je podnebje dokaj blago, za druge celine pa so razlike in zato selitev še večja).

Kot smo že opozorili, je bil pri tej klimatološki vaji uporabljen res poenostavljen model. Toda razpoložljivi podatki omogočajo tudi kompleksnejšo analizo, ki na primer lahko zajema še spremembo padavinskega režima, vodne balance in pretoka rek. Takšno analizo je pred časom izvedla skupina znanstvenikov iz Crowther Laba, ETH Zürich (Bastin in dr. 2019a; Bastin in dr. 2019b). Raziskava je zajela 520 mest po svetu in jih primerjala glede na štiri parametre: sedanje in prihodnje zimske in letne temperature ter padavine. Raziskava je zanimiva, ker je za nekaj dni Ljubljano popeljala na naslovnice svetovnih časopisov (BBC News 2019), saj pri iskanju parov mest za »novo« klimo Ljubljana ni imela sreče in so jo sparili z mesti, ki imajo poletno temperaturo kar 8 °C višjo kot Ljubljana sedaj (npr. Virginia Beach, Louisville, Charlotte). Model je tudi predvidel, da bi Ljubljana tako navidezno potovala za 10 ° južneje, kar je precej več kot predvideva naš poenostavljen model.





*Galileo Galilej je z metanjem objektov s Poševnega stolpa v Pisi pomagal razviti sodobno znanstveno metodo. Znanstvena skepsa je postala osnova vsem nadaljnjemu znanstvenemu razvoju. Sodobni podnebni »skeptiki« pa raje uporabljajo manj znanstvene, a zato morda bučnejše metode.*



## 4

# OMEJITVE RASTI SKOZI RAZPOLOŽLJIVO ENERGIJO

Po energetske krizi v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja je prišlo do prvega širše odmevnega zavedanja, tako med strokovnjaki kot tudi laično javnostjo, da neskončna rast (npr. prebivalstva, BDP, porabe energije) ni mogoča. Ob tem so se naslanjali na analize znanih zalog obstoječih fosilnih goriv. Rezultati so bili kar strašljivi, saj je kazalo, da imamo nafte le še za okoli 35 let. Takratne ocene so bile res kratkoročne, saj niso upoštevale novih odkritij in tudi novih tehnologij, ki dodatno izrabljajo do tedaj ekonomsko že usahle vire. Tako danes nismo nič bližje koncu obdobja rabe nafte, plina in premoga, kljub temu da smo v petdesetih letih pokurili izjemno veliko tovrstnih goriv. Še več, strogo matematično se zaloge povečujejo hitreje, kot jih porabljamo, kar pa nas ne navdaja z optimizmom, vsaj kar se okolja tiče. Ne glede na to pa nam zdrava pamet pravi, da obstajajo omejitve zmogljivosti planeta in da neskončna rast, ne glede na uspešnost ekonomskega koncepta, ni mogoča. Meje rasti planeta je sicer poskusil izračunati že prej omenjeni Malthus, toda njegovi modeli so se izkazali za preveč toge in ne prav uporabne. In čeravno Malthusa dandanes pribijamo na sramotilni steber, je njegovo delo le pokazatelj, da togo modeliranje brez vzročno-posledične povezave z realnostjo ne more biti uspešno.

Pierre François Verhulst je slabega pol stoletja kasneje zablodo neskončne rasti opravičil tudi matematično – z uvedbo logistične funkcije. Ta se je dodobra uveljavila za modeliranje podobnih primerov, na primer v biologiji za spremljanje populacije vrst ali v epidemiologiji za spremljanje širjenja epidemij. Mnogi so se omejitve rasti zavedali še pred odkritjem podnebnih sprememb, na primer ameriški ekonomist

Kenneth Ewart Boulding, ki je izjavil še danes popularen izrek: »Nekdo, ki verjame v neskončno rast na fizikalno omejenem planetu, je bodisi norec bodisi ekonomist.<sup>26</sup>«

Med sedanjimi okoljevarstveniki in znanstveniki izstopa Vaclav Smil, ki v knjigi Rast (Smil 2019) opozarja prav na težavno ugotavljanje končne meje rasti in ob tem podaja številne primere rasti, ki se po eksponentni rasti v zgodnjem obdobju izravnavajo in končajo v približevanju asimptoti – torej imajo vgrajeno neke vrste negativno povratno zanko. A hkrati je potrebno opozoriti, da ni nikakršnega zagotovila, da so tovrstne zavore – torej negativne povratne zanke, ki učinkovito zaustavijo hitro rast – obstajajo ali pa da so vsaj dovolj učinkovite za vse primere. To je še posebej pomembno za rast porabe energije človeštva, ki ga ženeta ne en, temveč dva (vsaj v preteklosti) hitro rastoča parametra – število prebivalcev in povprečna poraba na osebo. V primeru prešibkih zavor lahko človeštvo porabi še zadnje količine fosilnih goriv, še preden mu uspe omejiti porabo in preiti na nove tehnologije.

Najbolj razvpit primer ugotavljanja meje rasti skozi energetske potrebe je predavanje Billa Gatesa (Gates 2013), kjer je količino izpustov ogljikovega dioksida povzel z enačbo:

$$CO_2 = P \cdot S \cdot E \cdot C$$

kjer  $P$  označuje prebivalstvo,  $S$  usluge oziroma storitve, ki smo jih deležni,  $E$  energijo, ki jo porabijo storitve, in  $C$  koncentracije toplogrednih plinov (oziroma  $CO_2$ ) na enoto energije. Gatesov zaključek je enostaven – naredimo vse tehnološke pretvorbe toplogredno nevtralne in enačba ter toplogredni izpusti bodo enaki nič. Na žalost je izredno poenostavljen pristop zanemaril številne ovire, kot je različna stopnja razvitosti posameznih držav in posledično naklonjenost k doseganju ogljične nevtralnosti. Izkušnje kažejo, da tudi v razvitih državah še ni dosegljivih tehnologij širokega obsega, ki bi lahko hitro omejile izpuste toplogrednih plinov. Marsikatera kritika Gatesovega poskusa tako poudarja, da gre pri avtorju za – če uporabimo kar ameriški izraz – ponovno izumljanje kolesa<sup>27</sup>, pri čemer je avtor navdušen že nad tem, da mu je (spet) uspelo narediti okroglo kolo, hkrati pa v prevelikem navdušenju spregleda, da ni prišel niti koraka dlje od svojih predhodnikov (Rohm 2016; Bunge 2012). S podobno neposrečenim inženirskim pristopom je poskusil slabo desetletje

---

<sup>26</sup> Kasneje ga je večkrat odmevno citiral tudi Sir David Attenborough, ugledni televizijski ustvarjalec in naravoslovec, (Cardwell 2013).

<sup>27</sup> Formula, ki jo je predstavil Gates, se imenuje Kajina identiteta po japonskem energetskemu ekonomistu Joičiju Kajii (Yoichi Kaya), ta jo je prvič predstavil v znanstvenem članku leta 2002, hkrati pa je bila v uporabi v uradnih dokumentih IPCC.

kasneje, ko je promoviral reševanje podnebne krize z uporabo še več energije in nedodelanih tehnoloških rešitev (Gates 2021).

Med poznanimi strokovnjaki za mejo rasti je tudi Nicholas Georgescu-Roegen, ki je svoje ekonomske modele osnoval na entropijskih zakonih termodinamike, pri čemer je ekonomske modele prilagodil končnemu modelu surovin in je zaradi obsežnosti svojih modelov dojet kot ustanovitelj ekološke ekonomije (Georgescu-Roegen 1971). Nekoliko poljudneje so svoje delo zastavili Meadows in njegovi kolegi (Meadows in dr. 1972), ki so v poročilu z naslovom *Meje rasti* leta 1972 Rimskemu klubu predstavili omejitve svetovne ekonomije. V kasnejših letih so poročilo dopolnjevali (Meadows 2014), saj so bili prvi zaključki zelo strogi in omejeni (npr. teza o hitri izrabi surovin).

Robert Costanza in ostali so leta 1997 izdelali model »Full World«, ki temelji na ekološki ekonomiji, pri čemer je svet zaprt fizikalni sistem, ki energijo pridobiva le od sonca, edini odvod energije pa je odpadna toplota (Costanza in dr. 1997). Peter Victor pa je predlagal model »LowGrow« (Victor 2008), ki bi v tridesetih letih sedanji razvojni model gospodarske rasti pripeljal v uravnotežen model. Model zajema glavne makroekonomske parametre za doseganje družbenega napredka, a ocena napredka civilizacije vseeno temelji na bruto družbenemu proizvodu. Kompleksnejše prepletene modele uporablja Howard Odum, ki pa vseeno temeljijo na termodinamskih zakonitostih (Odum 1994). Lep pregled tovrstne tematike razvojnih modelov je mogoče najti v knjigi *Economics of a Crowded Planet* (Smith 2019).

## 4.1 Lestvica Kardašova

A v luči kritike številnih matematično navdahnjenih ekonomskih modelov (npr. (Blyth 2019) je smiselno izbrati model, ki temelji zgolj na energetskih načelih. Nekaj takšnega je predlagal ruski astrofizik Nikolaj Semjonovič Kardašov, ki je v šestdesetih letih preteklega stoletja preučeval kvazarje<sup>28</sup> in glede na njihove energijske izpuste dokazal, da je moč sklepati, da bi lahko obstajale galaktične civilizacije, ki bi bile milijone ali milijarde let pred človeško. Leta 1964 je izdelal lestvico, ki kaže napredek civilizacije v odvisnosti od izrabe energije bližnje zvezde ali celo galaksije – lestvico

---

<sup>28</sup> Kvazar je izredno močno in oddaljeno aktivno galaktično jedro, ki je močan vir elektromagnetnega valovanja, pri čemer je njegov spekter premaknjen v rdeči del. Prevladuje mnenje, da so kvazarji zgoščena območja, ki obkrožajo osrednje supermasivne črne luknje galaksij in oddajajo nekaj stokrat več energije od navadnih galaksij.

Kardašova (Kardashev scale 2020). Ta ima tri stopnje, ki se praviloma označujejo z rimsko številko:

- Stopnja I pomeni tehnološko raven civilizacije, ki lahko izkoristi tisti del energijskega toka svoje starševske zvezde, ki doseže planet. Za sistem Zemlja-Sonca je ta vrednost blizu  $1,74 \cdot 10^{17}$  W, kar je več kot pet magnitud več od sedanje porabe energije. A pri tem je potrebno upoštevati, da zemeljsko površino doseže le del tega energijskega toka, tako da je na voljo le nekje med  $1,0 \cdot 10^{16}$  in  $1,0 \cdot 10^{17}$  W energije (Lemarchand 2000).
- Stopnja II pomeni civilizacijo, sposobno izkoristiti vso energijo, ki jo oddaja lastna zvezda. Na primer z uspešno konstrukcijo Dysonove sfere okoli matične zvezde. V primeru Sonca bi lahko izkoristili energijo, ki je primerljiva s svetilnostjo Sonca, približno  $4 \cdot 10^{26}$  W.
- Stopnja III pomeni civilizacijo, ki razpolaga z energijo, enako velikosti sevanja celotne matične galaksije. V primeru galaksije Rimske ceste to znaša približno  $4 \cdot 10^{37}$  W.

Za lažje razumevanje porabe energije in definicijo vmesnih stopenj je takšno lestvico smiselno linearizirati. Carl Sagan in drugi astronomi so tako uporabili formulo:

$$K = \frac{\log_{10} P - 6}{10}$$

pri čemer je  $P$  energijska poraba sveta v J/s oziroma W.

Z izvedeno formulo lahko definiramo ne le stopnji 0<sup>29</sup> in 4, temveč tudi vmesne stopnje, pri čemer izvirne stopnje Kardašova pišejo z rimsko številko, izpeljane pa z arabsko. Pri tem stopnja 0 zaznamuje civilizacijo, ki vse energije, ki doseže planet, še ni sposobna izkoristiti v celoti, stopnja 4 pa civilizacijo, ki izkorišča vso energijo celotnega vesolja. Seveda se domišljija ni ustavila tu, zato nekateri razmišljajo celo o civilizacijah stopenj 5, 6 in celo 7 (Ratner 2016).

Ob nastajanju je bila lestvica Kardašova narejena z mislijo na olajšanje iskanja tujih civilizacij v drugih osončjih in tudi galaksijah (več o tem v poglavju 4.3). A zaradi energetske naravnosti se jo da uporabiti tudi introvertno – za Zemljo. Tako lahko glede na količino energije, ki jo naša civilizacija potrebuje, in energije, ki jo ima pri

---

<sup>29</sup> Kot zanimivost – stopnja 0 sega prek 70.000 let v preteklost, ravno v dobo skorajšnjega izumrtja modernega človeka kot posledice izbruha super vulkana Toba na Sumatri. Ta je povzročila padec globalnih temperatur celo do 15 °C in padec človeške populacije na vsega nekaj tisoč osebkov (Toba catastrophe theory 2020), pri čemer je tedaj človeštvo za svoje potrebe porabljal le 1 MW energije. Poleg tega nekateri smatrajo, da je bil izbruh vulkana tudi vzrok za migracije, ki so človeka iz Afrike ponesle v druge dele Sveta.

dani tehnološki razvitosti na voljo, ter seveda stopnje rasti določimo, kdaj lahko Zemlja pade v globalno pomanjkanje energije. Ker je bila skala narejena v času največjega napredka vesoljske tehnologije, je bila predpostavka stagnacije razvoja pozabljena ali vsaj umaknjena v ozadje. A zadnjih nekaj desetletij kaže, da stopnja razvoja po Kardašovi lestvici še zdaleč ne dosega rasti porabe energije.

Bruto poraba energije na Zemlji znaša 159.000 TWh. To znese 18,78 TJ/s oziroma TW. Glede na linearizirano enačbo vrednost naše civilizacije po lestvici Kardašova znaša 0,726, kar nas uvršča v domeno civilizacije tipa 0. Toda o zelo hitremu razvoju od začetka industrijske revolucije pred približno 300 leti do danes priča to, da je potreba človeštva po energiji narasla za približno 36-krat, oziroma za 0,155 na (linearizirani) lestvici Kardašova. Pri tem je bila največja rast v zadnjih dobrih 100 letih, ko smo poskočili kar za 0,07 ravni. K tej rasti prispevata tako rast prebivalstva kot tudi energetska požrešnost. Povprečna oseba tako danes porabi vsaj 15-krat toliko energije kot v časih rimskega imperija, v razvitih delih sveta pa je to razmerje lahko tudi sto in še več. Prav tako pa se je povečalo število prebivalcev planeta – s 180 milijonov na sedem in pol milijard oziroma več kot za štiridesetkrat.

## 4.2 Kardašov kot optimist

Vseeno se zdi, da je stopnja 0,726 dovolj daleč od 1 (torej lahko porabimo približno 550-krat toliko energije kot sedaj) in da človeštvo lahko na tak način, kot živi danes, preživi še nekaj let, desetletij, morda stoletij, preden mora narediti preskok v vesolje. Toda lestvica Kardašova predvideva, da lahko izkoristimo vso sončno energijo, ki jo prestreže naš planet. Temu pa ni tako. Najprej se je potrebno soočiti z ovirami pri pridobivanju sončne energije na Zemlji.

Tehnološke ovire so vezane na tehnologijo, ki jo izrabljamo za pretvorbo sončne energije v univerzalnejšo električno: komercialni sončni (fotovoltaični) paneli imajo izkoristek med 18 in 20 % (NREL 2020). Resda izkoristek v laboratorijskih pogojih doseže še nekaj več, toda fizikalni zakoni preprečujejo izkoriščanje nad nekaj deset odstotki. Veliko ljudi po drugi strani upa, da bi lahko sončno energijo pretvorili v druge oblike na bolj naraven način, na primer s fotosintezo v biomaso in s predelavo te v toploto in elektriko. A izkaže se, da je fotosinteza izrazito neučinkovit energetske postopek. Raziskave kažejo, da je učinkovitost fotosinteze pri tvorjenju biomase v mejah med 0,1 in 4,3 %, za celovito učinkovitost postopka pa je potrebno upoštevati še nadaljnjo pretvorbo energije (Biello 2011; Bolton in Hall 1991).

Druga omejitev je prostorska. Kar 70,8 % površine naše zemlje prekrivajo morja. Čeprav obstajajo elektrarne, ki so locirane na morju (npr. vetrne »off-shore« elektrarne, poizkusne elektrarne na bibavico in morski tok), pa je teh razmeroma malo. Morda bi bilo smiselno oblikovati plavajoče elektrarne, ki bi bile zasidrane daleč od poti mednarodnih ladij. Pri tem pa se pojavi problem prenosa energije, vzdrževanja ipd., kar daje vprašljiv izplen v primerjavi s stroški gradnje. Prav tako postavitve elektrarn ni smiselna daleč na severu ali jugu celin, kjer je vreme povečini neustrezno in kjer imamo spet problem dosegljivosti. Tako lahko ocenimo, da je za pridobivanje energije na voljo morda le 20 % zemeljske površine. In ker bi marsikateri del kopnega radi obdržali zase, je delež prostora, ki ga lahko za to koristimo, še toliko manjši. V raziskavi o potencialu sončnih elektrarn na strehah objektov je bilo za Slovenijo na primer ugotovljeno, da lahko za tovrstno pridobivanje energije namenimo nekaj več kot 1 % površine države (Kovač in dr. 2018).

Vse te ovire predstavljajo delež, ki ga ne moremo izkoristiti. Torej mora naša civilizacija preiti na stopnjo I še preden učinkovito počrpamo vse razpoložljive energetske vire. Temu je smiselno tudi prirediti Saganovo formulo, ki mora upoštevati realne omejitve okolja:

$$K = \frac{\log_{10} P - 6 + \log_{10} \delta}{10}$$

Pri čemer  $\delta$  predstavlja delež omejitve. V našem primeru znaša tehnološka omejitev 20 % in prostorska 20 % (če izrabimo vso smiselno zemeljsko površino), kar skupaj zneso 4 %. V tem izračunu ni zajeta vetrna energija, a podatki (van Zalk in Behrens 2018) kažejo, da je ta manj koncentrirana kot sončna (za enak izplen električne energije potrebuje več zemeljske površine). Upoštevanje realnih ovir v zgornji enačbi izkaže stopnjo 0,862 po lestvici Kardašova. To z drugimi besedami pomeni, da nas do meje, ko bomo izkoristili vso razpoložljivo trajnostno energijo, loči le še faktor 24. Z upoštevanjem realnih omejitev nam torej zelo hitro zmanjkuje manevrskega prostora.

Ob sedanji rasti potreb po energiji bo človeštvo že v nekaj desetletjih, v najboljšem primeru stoletju, za svoj obstoj porabilo vso energijo, ki jo Sonce pošlje na Zemljo in ki omejuje civilizacijo stopnje I. Dovolj bo že, da si vsi Zemljani zaželejo živeti energetske razkošno življenje, kot ga živimo na zahodu oziroma v energetske potratnih državah. To sicer ne pomeni, da mora človeška civilizacija že jutri v vesolje razposlati svojo floto vesoljskih ladij, ki bodo rudarile energijo sonca, a vsekakor pomeni, da so energetske zahteve za civilizacijo stopnje I veliko bližje, kot se zdi. Hkrati pa to pomeni, da bo naša civilizacija še nekaj let, desetletij ali celo več ujeta v



stopnjo 0. Za preskok na stopnje nad 1,00 bi morali uresničiti futuristične in zatorej precej zapostavljene ideje o izkoriščanju ostalih delov osončja, na primer pridobivanje električne energije na Luni in kanaliziranje le-te na Zemljo.

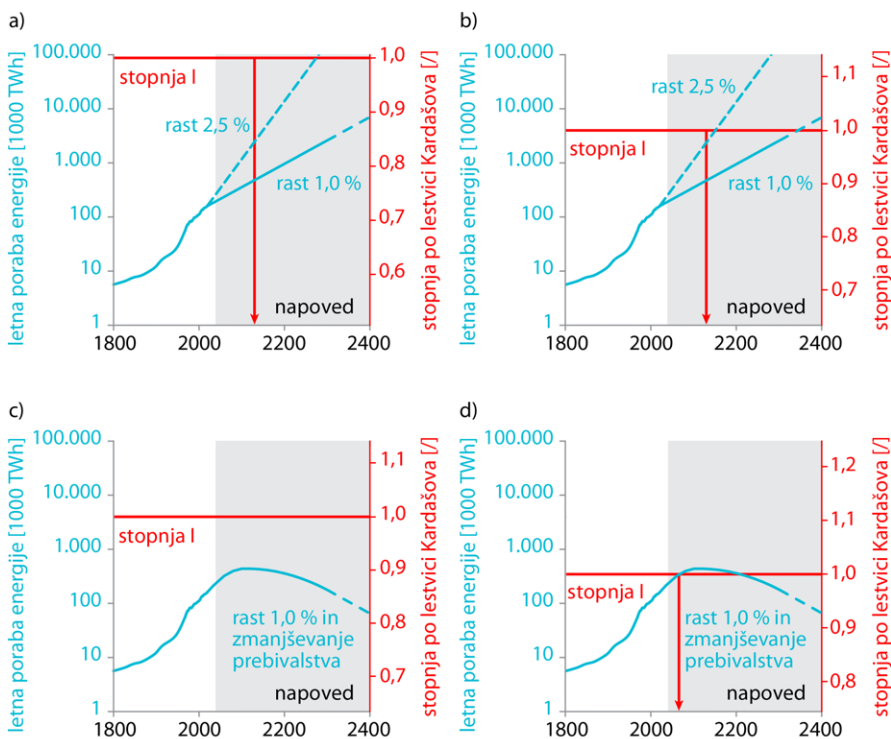
Kardašova ideja se v mnogočem prekriva s sodobnimi trendi na področju obnovljivih trajnostnih virov. Pri nastavljanju energetskih mej pa ni upošteval izkoriščanja jedrske energije – ne fisijske niti fuzijske. Morda je vzrok za to majhen pomen take energije v času, ko je nastajala njegova hipoteza, ali pa dejstvo, da težki elementi za fisijo nastajajo ob robu supernov, devterij za fuzijo pa je nastal še prej – ob Velikem poku. Toda drugi vzrok je veliko bolj zemeljski. Jedrske elektrarne namreč delujejo kot toplotni stroji, pri čemer kar 2/3 generirane energije predstavlja odvečna toplota, ki ob današnjem deležu jedrske energije razmeroma majhna. Če bi bil delež odvečne toplote v energetski bilanci Zemlje prevelik, potem bi ta še dodatno in predvsem znatno segrela Zemljo do leta 2400 za dodatnih 12 °C (Mullan in Haqq-Misra 2019), pri čemer se nam bodo zdele podnebne spremembe do leta 2100 le blažja uvertura.

Slika 43 prikazuje porabo energije od leta 1800 dalje v štirih scenarijih bodoče porabe. Prvi scenarij (zgoraj levo) predvideva podobno rast porabe energije kot v zadnjih 50 letih, med 1 in 2,5 %, pri čemer bi človeštvo poskušalo pretvoriti vso vpadlo sončno svetlobo. Po tem scenariju bi ob relativno hitri rasti do energijske prelomnice, ki jo nosi stopnja I po lestvici Kardašova, prišli nekje pred letom 2300. Seveda to ne pomeni, da bo točno takrat ugasnila zadnja luč na Zemlji, temveč le to, da bodo energetsko-podnebne razmere resne že mnogo pred tem, saj bo počasi zmanjkovalo velikih in cenениh virov energije (ki so sedaj kot po pravilu predvsem fosilnega izvora: nafta, zemeljski plin, tudi premog ipd.), na drugi strani pa bodo naraščale energetske zahteve, kar prav tako pomeni naraščanje cen energentov in s tem tudi veliko napetosti, tako ekonomskih kot tudi političnih.

Drugi scenarij (zgoraj desno) predvideva podobno rast, a upošteva realne možnosti izrabe obnovljive, predvsem sončne energije, torej da je dejansko na voljo le peščica od vpadle energije (upoštevajoč geografske in tehnološke omejitve, ki so bile navedene zgoraj). Po tem scenariju je zahtevan prestop na stopnjo I precej bližje, že nekaj let po letu 2100. To pomeni, da se bo v prejšnjem odstavku opisana kriza zgodila prej in tudi intenzivneje.

Tretji scenarij (spodaj levo) predvideva nekoliko počasnejšo rast potreb po energiji, hkrati pa upošteva tudi upočasnjevanje rasti prebivalstva v svetovnem merilu, le-ta naj bi višek dosegla okoli leta 2100, pri čemer stopnje I po Kardašovi lestvici sploh ne bi dosegli. Za takšen scenarij pa je potrebno zagotoviti zgodovinski

razklop med rastjo bruto domačega proizvoda in porabo energije v razvijajočih državah. A četudi ta scenarij vsaj v matematični obliki deluje prepričljivo, ne more jamčiti, da nas v naslednjih stoletjih ne čakajo politične napetosti okoljsko-energetskih kriz.



Slika 43: Letna poraba energije v dobi industrializacije in štirje scenariji energetske bodočnosti (Kovač 2020).

Četrti scenarij (spodaj desno) pa podobno kot drugi scenarij upošteva zelo jasne omejene možnosti za izkoristek sončne energije. V tem primeru je bilo upoštevano, da za energetske potrebe uporabimo kar 10 % kopnega. To se morda sliši veliko, toda precej prostora, na primer v puščavah, je za to zelo primerne. A ta omejenost vseeno pomeni, da je stopnja I po lestvici Kardasova precej bližje trenutni porabi – še več, mejne vrednosti bi lahko dosegli v drugi polovici tega stoletja. Četudi k temu prištejemo še druge načine pridobivanja energije (veter, geotermalna, morda celo jedrska), se razmerja bistveno ne spremenijo in vsekakor kažejo na sedanjo pretirano porabo energetskih virov ter nevarnost okoljsko-energetskih kriz.

Predpostavka Karđasove lestvice je, da lahko življenje normalno teče brez velikih tehnoloških preskokov, le dokler porabimo manj energije, kot jo je naš planet oziroma civilizacija sposoben prestreči.

Lestvica Karđasova in njej podobne se prvenstveno ukvarjajo z razmerjem med razpoloŹljivo in porabljeno energijo. Lestvica Karđasova ima poudarek na vsej prejeti (torej bruto) energiji, ki pa je niti z obstoječimi tehnološkimi postopki kaj Źele biološkimi pretvorbami ni mogoče v popolnosti spremeniti v uporabno obliko, na primer elektriko ali hrano. Tudi zato so se sčasoma oblikovale boljše ekološke lestvice, na primer okoljski odtis, ki ga je leta 1994 zasnoval Źvicarski ekolog Wackernagel (Wackernagel 1994). V grobem ta lestvica pove, kako intenzivno prebivalstvo izkoriŹča planet, in prikazuje povrŹino Zemlje, ki naj bi jo ena oseba potrebovala za zagotovitev trenutnega življenjskega standarda. Zadnji podatki za Slovenijo kaŹejo, da povprečna oseba za svoj življenjski stil potrebuje 4,68 gha (vrednost 2014, glej (Gorenc, TomaŹ 2020). Za primerjavo je to kar 2,78-krat več, kot je sposobnost obnavljanja planeta. Hkrati je to tudi 4,7-krat več kot imamo razpoloŹljive povrŹine Slovenije na prebivalca. Čeprav je okoljski odtis precej plastično merilo in kot tako več kot primerno za najŹiršo uporabo, pa ga vsaj v strokovnih krogih nadomeŹajo eksaktnejŹi in tehnoloŹko bolj dodelani preračuni posameznih izpustov, ki so bolj zaŹeleni s strani EU.

### **4.3 Podnebne spremembe kot Veliki filter razvoja (naše civilizacije)<sup>30</sup>**

ČloveŹstvo se Źe dolgo spraŹuje po obstoju zunajzemeljskih civilizacij, z izboljŹavo tehnologije in raketno ero pa je to vpraŹanje postalo tudi pomembna znanstvena tema. RazŹirjeno mnenje je, da se je verjetno življenje razvilo Źe kje v naši galaksiji, tudi zato vesoljske sonde njegove znake ali vsaj temeljne sestavne dele iŹčejo po drugih predelih našega osončja (na primer na Marsu ali Saturnovi luni Titan), nedavno pa so v Venerini atmosferi našli spojino fosfina, ki lahko nakazuje na preproste oblike življenja (James Mason 2014).

Ena boljŹih ali vsaj najbolj razvpitih debat o zunajzemeljskem življenju je leta 1950 potekala med kosilom v kafeteriji losalamoŹkega Jet Propulsion Laba. Prisotni so bili Enrico Fermi (nam Źe poznan iz zgodbe o hitrem in pribliŹnem izračunu kompleksnih preračunov), Emil Konopinski, Edward Teller in Herbert York. Fermije ob listanju revije

---

<sup>30</sup> Objavljeno kot del samostojnega članka v reviji Alternator (Kovač 2020).

(menda je šlo za še danes slavni New Yorker) in pogledom na karikaturu z vesoljci, ki prevračajo kante s smetmi, vzkliknil: »Kje pa so vsi?« Točnega poteka pogovora se nihče izmed udeležencev ni spominjal (Howell 2018), a večina se je strinjala, da se je vprašanje nanašalo na možnost letenja v vesolje (do poleta Sputnika je bilo takrat še 7 let, do Gagarinovega poleta pa 11). Fermijevo vprašanje se je od takrat nekoliko razvilo v Fermijev paradoks, pri katerem ne gre več za vprašanje, kako potovati po vesolju (do sedaj smo s človeško posadko zmogli le do Lune in to navadno traja nekaj dni, pot do Marsa traja predvidoma pol leta, do najbližje zvezde Alfa Kentauri pa po Nasinih podatkih / kar 73.000 let), temveč za dilemo, zakaj vesoljcev ne vidimo, kljub temu da je samo v naši galaksiji na milijone podobnih zvezd in planetov, kjer bi lahko bilo življenje.

Desetletje kasneje je na ta paradoks poskušal odgovoriti ameriški astronom in astrofizik Frank Drake z nekoliko bolj strukturirano oceno števila razvitih zunajzemeljskih civilizacij v naši galaksiji. Drakova enačba, ki določa število civilizacij  $N$  v naši galaksiji, se glasi:

$$N = R^* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

Število civilizacij je po enačbi preprost zmnožek povprečnega letnega števila novonastalih zvezd  $R^*$ , deleža zvezd s planetarnimi sistemi  $f_p$ , števila planetov v sistemu, na katerih lahko nastane življenje  $n_e$ , verjetnosti, da se na planetu razvije življenje  $f_l$ , deleža planetov, ki gostijo življenjske oblike z višjo inteligenco  $f_i$ , deleža planetov, katerega prebivalci so zmožni medzvezdnega sporazumevanja  $f_c$  in življenjske dobe tehnične civilizacije  $L$ . Zmnožek je zelo odvisen od ocen velikosti parametrov in več kritikov je poudarilo nezanesljivost te enačbe. Tako je ocenjena zgornja meja nekje pri 15 milijonih – torej v naši galaksiji naj bi bilo milijone civilizacij, s katerimi bi lahko navezali stik, Nasa pa v zadnjih ocenah (Vakoch in Dowd 2015), ki so nedvomno spodbujene z izkušnjo pomanjkanja stika z drugimi civilizacijami, vrednost  $N$  ocenjuje na  $9,1 \cdot 10^{13}$  civilizacij, kar je seveda praktično nič.

A četudi so v Galaksiji zunajzemeljske civilizacije, je kar nekaj vzrokov, ki bi nam lahko preprečevali kontakt z njimi. Pravzaprav je kar nekaj kozmologije po Fermijevem paradoksu in Drakovi enačbi posvečeno iskanju najbolj premetenega izgovora, zakaj še nismo srečali tujih civilizacij. Eni krivijo logistiko in druge inteligentne civilizacije, ki so predaleč in enostavno nimajo potovalne ali komunikacijske tehnologije za premagovanje velikih razdalj. O tem sta leta 1981 pisala astronom William Newman in Carl Sagan (Newman in Sagan 1981). Lahko pa je problem tudi na naši strani – bodisi so naše komunikacijske sposobnosti še premajhne ali pa je naša civilizacija premlada in naši elektronski odtisi še niso prišli

do pravih sosedov, kot je razmišljal Karl Sagan v svoji drugi knjigi *Stik* (Sagan 1997). Obstaja še ena možnost, da nas zunajzemeljska bitja le nemo opazujejo in skrbijo, da ne počnemo neumnosti, kar v kozmologiji opisujejo kot živalski vrt. Ljubitelji znanstvene fantastike pri tem omenjajo podobnost s serijo *Zvezdne steze*, kjer morajo konfederacijske vesoljske ladje slediti protokolu osnovne direktive in prepovedi poseganja v manj razvite civilizacije. Alternativa je lahko še nekoliko bolj žalostna – enostavno nismo dovolj zanimivi. Teoretični fizik Nichio Kaku je podal slikovito prisposodbo – kot civilizacija smo verjetno zanimivi le kot neko mravljišče v Peruju med obdobjem Pizarrovega osvajanja Inkovskega imperija. Zdi se, da je to možnost imel v mislih Douglas Adams, avtor *Štoparskega vodika po Galaksiji*, v kateri je ocenjevalec Zemljo popisal le s »pretežno neškodljiva«. Morda bi zaenkrat zanemarili še bolj domiselne rešitve, da so vesoljski sosedi uspeli transcendentirati klasično vsakdanje življenje, problem smrti in materialnih potreb ali pa da je človeštvo le hologram (Davies 1996).

Takšno število možnosti je leta 1996 spodbudilo ekonomista Robina Hansona (Hanson, Robin 1998), da je odsotnost komunikacij z nezemeljskimi civilizacijami pojasnil z Velikim filtrom. Ta naj bi bil glavni vzrok, ki bi morebitnim civilizacijam onemogočal preskok katerega od korakov, potrebnega za izkoriščanje zunajplanetarne energije za nadaljnji razvoj civilizacije (ti koraki zajemajo tako izbor prave zvezde in planeta, reproduktivne molekule, kot so DNK, razvoj eno- in večceličnih bitij, uporabo orodja, industrijski napredek, koloniziranje drugih svetov ipd.). Ker smo večino teh korakov na Zemlji že naredili, tako ne vemo, ali smo v preteklosti imeli neizmerno srečo ali pa nam Veliki filter še le grozi.

Ob iskanju tujih civilizacij je smiselno tudi oceniti ali vsaj slutiti njihovo smer razvoja. Zato je smiselno uporabiti že omenjeno lestvico Kardašova. Že prej smo ugotovili, da človeštvo trenutno porablja  $1,878 \cdot 10^{13}$  W moči. To je razmeroma visoka številka, toda za trenutek pogledjmo, kaj pomenijo za vidnost iz vesoljskih razdalj. Vsi poznamo fotografije Zemlje ponoči, kjer so mesta osvetljena z lučmi in podobnim. A že onkraj Lunine orbite, torej nekje 384.000 kilometrov daleč, luči na Zemlji ne moremo več videti, saj je svetlobe premalo. Ocenjujejo, da bi z dobrim teleskopom še lahko uzrli kakšno svetlo piko na temni strani Zemlje recimo z Marsa, ki se nam približa na nekje 70 milijonov km.

V dobrih tridesetih letih, odkar astronomi odkrivajo eksoplanete, so v naši galaksiji z razvojem ustreznih teleskopov in tehnologije našli prek 4000 planetov. Ti krožijo okoli zvezd, ki niso naše Sonce. Razdalje do teh osončij segajo od dobrih 4 do skoraj

28.000 svetlobnih let. Če na katerem od njih obstaja kakršnokoli življenje, ki je podobno zemeljskemu (torej do stopnje I), tega z naše razdalje ne moremo ugotoviti.

Zdi se, da se civilizacije, ki niso uspele preiti stopnje I po lestvici Kardašova, enostavno zlijejo z okolico, še posebej, če vemo, da so nam najbližji eksoplaneti oddaljeni nekaj svetlobnih let, torej pol milijonkrat več kot omenjeni Mars. Prav tako pa do sedaj nismo našli civilizacije, ki bi šla prek te meje. A ob tem se moramo zavedati, da je število do sedaj odkritih eksoplanetov razmeroma majhno, da bi zadostili statistični reprezentativnosti za obravnavo z Drakeovo enačbo, sploh zaradi širokega razpona slednje.

Za preseganje stopnje I je torej potrebno zapustiti rodni planet in v vesolju ali na tujih svetovih izdelati ogromne konstrukcije, ki bi lahko izkoriščala tudi energijo, ki Zemlje ne doseže. Le tako bi bili ti podvigi vidni na daljše galaktične razdalje. Toda tudi to je ne le kompleksen inženirski problem, temveč tudi energijsko precej potratno. Do sedaj smo recimo na Luno, to je najbolj oddaljeni svet, ki smo ga ljudje obiskali izstrelili nekaj deset ton opreme, nazaj pa pridobili le 382 kg nezemeljskih vzorcev (večinoma med misijami Apollo). Tudi skupna teža vseh do sedaj izstreljenih satelitov ne presega nekaj deset tisoč ton. Energija za kilogram teže je v nizki zemeljski orbiti približno 30 kWh. Za kg teže na luni pa približno 2000 kWh (lunarni modul), kar je nekaj deset tisočkrat več, kot se porabi energije za prevažanje s tovornjaki po cestah. Kakorkoli že, premikanje po vesolju zahteva energijo, ta pa zahteva kolonizacijo vesolja in izkoriščanje vsega, kar nam sonce ponuja – sončne svetlobe.

Lahko bi razmišljali, da le še nekaj energije porabimo tule, prižgemo luč tam, za vogalom zaženemo še eno veliko napravo, pa bomo počasi energetske stopili med ugledne kozmološke civilizacije. A Kardašova je pri oblikovanju lestvice vodila ravno nasprotna logika. Predpostavil je, da se bodo energetske potrebe zviševale z rastjo razvitosti in tehničnih možnosti potovanja po našem osončju in vesolju. Njegove meje tako ne upoštevajo generacije toplote v zemeljski notranjosti (ocenjene na  $4,7 \cdot 10^{13}$  W, torej 0,3 % sončne energije), v svoji naivnosti ali daljnovidnosti pa je predvidel trajnostni razvoj, torej da ne nepovratno posegamo v zemeljske energetske zaloge in porabimo le tolikšne količine energije, kot jo je planet sposoben prenesti.

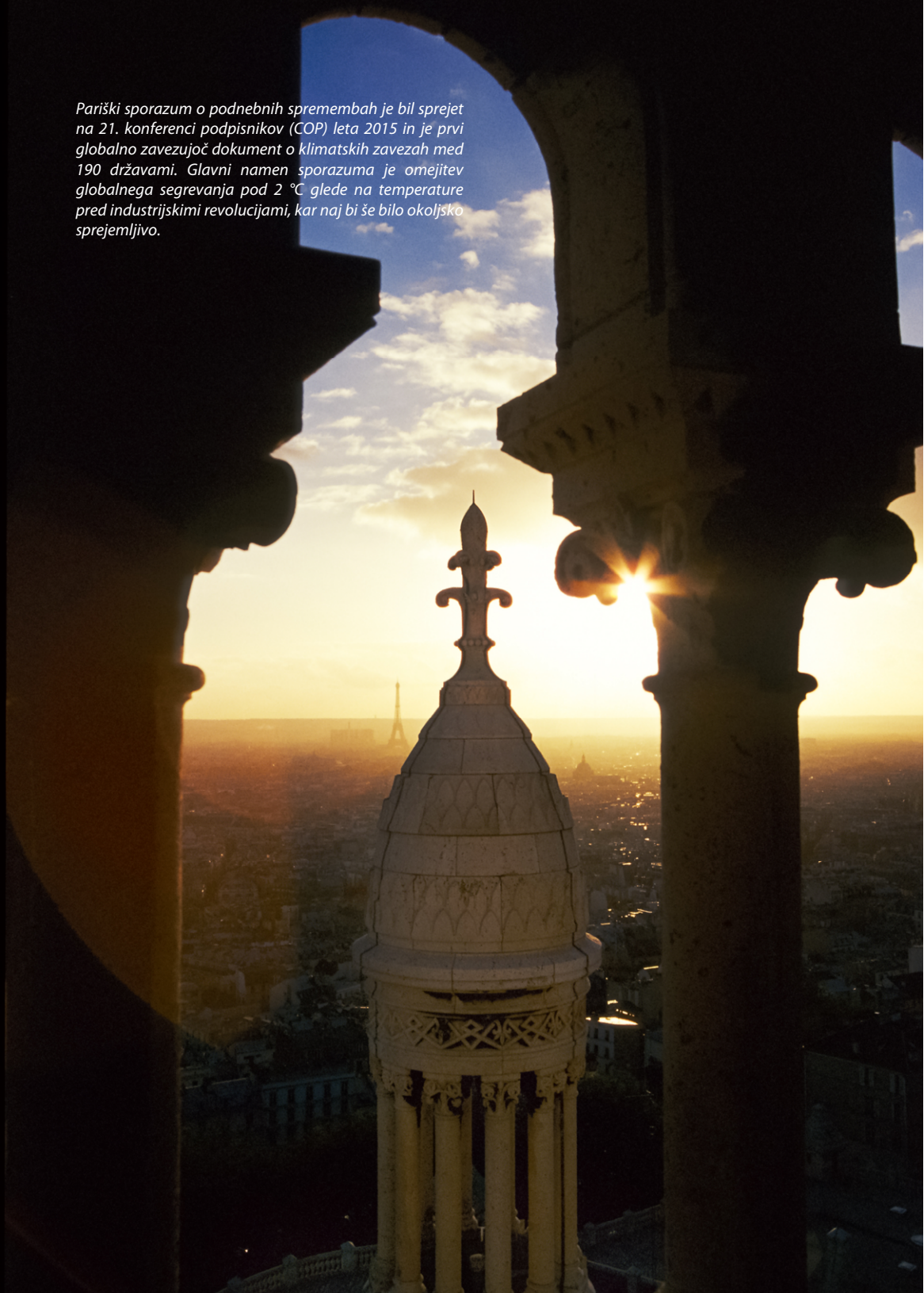
Podnebne spremembe kažejo na to, da so naše energetske potrebe že začele najedati planetarno klimo. Hkrati pa pomanjkanje vidnih civilizacij lahko nakazuje, da je to univerzalen problem vseh civilizacij, ki se dvigujejo proti stopnji I. Podnebne spremembe med silovitim tehnološkim razvojem namreč niso doma le na Zemlji,

temveč so dobesedno univerzalni problem. Hkrati pa so energetske zahteve, ki pogojujejo večji delež izkoriščanja energije Sonca oziroma matične zvezde, tako velike, da se razvoj takšnih civilizacij znajde na mrtvi točki.

Čeprav so podobne ideje obstajale že od sredine sedemdesetih let (Hoerner 1975), pa so sicer nekoliko dopolnjene šele v zadnjih letih pridobile močno podporo v znanstveni javnosti (Byers, Michael in Peacock, Kent A. 2019). S tem povezan razvojni zastoj ustreza definiciji Velikega filtra, kot ga je zasnoval Hanson. Gledano z današnje perspektive, kjer smo priča donkihotovskemu boju proti globalnemu segrevanju in podnebnim spremembam, ki so posledica prekomerne rabe energije, se zdi ekološka katastrofa, ki jo prevelika nenadzorovana poraba energije prinese matičnemu planetu, čisto mogoča ovira za vsako napredno civilizacijo, tudi zemeljsko. Prav tako ta teorija zadovoljivo pojasnjuje Fermijev paradoks o pomanjkanju tujih civilizacij v naši okolici – hkrati pa tudi ugaša upanje, da je tehnološki napredek neomajen in da lahko reši še tako kompleksne težave, kot so vpliv podnebnih sprememb na civilizacijo in nenazadnje na življenje na planetu.

Ne smemo niti pozabiti, da je lestvica Kardašova nastajala v času skokovitega napredka vesoljske tehnike, ko so je zdel pristanek na Luni podobno futurističen kot teleport, časovni stroj ali vesoljsko dvigalo. Realne ekonomske in energetske razmere zadnjih 50 let pa so pokazale, da so takšni tehnološki preskoki izjemno redki. Pogled na sosednje eksoplanete lahko kaže, da so takšni preskoki še redkejši, kot smo upali. In že zato je morda smiselno naše nezadržno hlastanje po energiji nekoliko umiriti ter razvoj usmeriti v naprednejše tehnologije, ki porabljajo manj energije in planetarnih virov ter trosijo manj strupov.

*Pariški sporazum o podnebnih spremembah je bil sprejet na 21. konferenci podpisnikov (COP) leta 2015 in je prvi globalno zavezujoč dokument o klimatskih zavezah med 190 državami. Glavni namen sporazuma je omejitev globalnega segrevanja pod 2 °C glede na temperature pred industrijskimi revolucijami, kar naj bi še bilo okoljsko sprejemljivo.*





## 5 SKLEP

Hiter zgodovinski pregled porabe energije, ki sem ga opisal v tej knjigi, nakazuje kako tozadevno nenasitna je naša civilizacija. Čeprav hiter industrijski vzpon traja že skoraj tri stoletja, pa se šele v zadnjih letih začinjamo zavedati pomembnosti našega vpliva na okolje. Hkrati se na srečo širi tudi delež družbe, ki dojemata, da so spremembe, ki jih človeška dejavnost povzroča naravi, trajne in marsikje tudi uničujoče. Ob tem pa naraščajo tudi napetosti do drugače mislečih, ki vznik okoljskih problemov vidijo kot dimno zaveso, za katero se skrivajo druga, morda za njih pomembnejša vprašanja.

Čeprav okoljski problemi sodijo med zapletenejše, pa je marsikatero podrobnost mogoče izluščiti s preprosto energijsko bilanco, ki pomaga pri dojetanju ogromnih števil na globalni ravni. Za sledenje energiji sem se tako trudil uporabljati grafične in drugačne prikaze: koliko je porabimo, od kje jo jemljemo in kako uspešni ali ekonomični smo pri tem. Veliko poudarka je namenjenega zgodovinskim spremembam in vprašanju, kako so te vplivale na porabo energije – od začetka poljedelstva, dobe prvih civilizacij in imperijev ter srednjega veka pa vse do treh industrijskih revolucij, ki so zajele Anglijo, Evropo in zadnja ves svet.

Pri tem je razvidno, da je vsaka tehnološka revolucija vplivala na razvoj novih tehnologij in na povečanje produktivnosti, s tem pa omogočila tudi močno rast števila prebivalcev. Prebivalstvo Zemlje je v teh tisočletjih številčno hitro rastlo in se z desetih milijonov v času prvih civilizacij povečalo na nekaj sto milijonov v dobi imperijev ter doseglo prvo milijardo leta 1800. Do druge milijarde je potrebovalo približno 130 let, za nadaljnjo podvojitev pa je bilo treba počakati le še 44 let. Rast se vendarle počasi umirja in leta 2020 je človeška populacija štela dobrih 7,8 milijarde ljudi.

A hkrati z naraščanjem prebivalstva se povečujejo tudi naše energetske zahteve. Če je pračlovek preživel nekje s 100 W konstantne moči, ki jo je porabil za ogenj – za ogrevanje in občasno pečeno hrano, danes povprečen človek razvitega sveta porabi med 4 in 5 tisoč W energije, to je 4 do 5 kJ vsako sekundo, torej kar 50-krat več kot v pradavnini. V potratnejših državah je to razmerje še dosti hujše. Pri tem je seveda neizbežno vprašanje o smiselnosti tega početja, še posebej ker energetske potrebe celotnega planeta določa preprost zmnožek števila prebivalcev in povprečne porabe. Tudi zato je količina (pre)potrebne energije za delovanje civilizacije tako zelo narasla, hkrati pa, vsaj glede položaja na lestvici Kardašova, ni prinesla silnega preskoka tehnologij, če izvzamemo telekomunikacije.

Vedno večje zavedanje posledic hlastanja za energijo pomeni tudi, da je na razpolago vedno več meril za določanje vpliva človekovega delovanja na naš planet. Poznamo merila za ogljične odtise, deleže obnovljivih virov, celo okoljske odtise (merjene v površini, ki zadostuje za pokrivanje vseh naših energetskih potreb) in podobno. A čeprav so ta merila zelo zapletena, so hkrati tudi precej težje izračunljiva in zahtevajo velik nabor podatkov. Prav zato sem za potrebe analize energijskih razmerij uporabil ideološko morda najmanj obremenjeno merilo – lestvico Kardašova, ki ima svoje korenine v kozmologiji, a je zaradi povezave s tehnologijo dober ocenjevalec stanja tudi slednje. In tudi tu se je izkazalo, da naše velikanske energetske potrebe niso nedolžne in terjajo spremembe. Še več, do sedaj zbrane informacije namigujejo, da se problemi, kot jih imamo sedaj z velikimi podnebnimi spremembami, lahko pojavijo pri vsaki razviti civilizaciji, in kažejo, da ti problemi morda niso enostavno rešljivi.

Birokratsko precej napihnjen način, s katerim se je EU lotila boja s podnebnimi spremembami, povzroča precej frustracij, saj so le redki strokovnjaki, ki poznajo ne le preštevilne podrobnosti uporabljenih klimatoloških modelov, vrednotenja izpustov, analize izdelkov skozi življenjsko dobo ipd., ampak imajo tudi soliden celosten pregled tematike ter so to sposobni zadovoljivo pojasniti kar najširši javnosti. Ta način dobro opisuje eden od Murphyjevih zakonov, ki pravi, če jih ne moreš prepričati, jih vsaj zmedi, kar pa ima lahko pri določenem delu javnosti nasprotni efekt. Tudi zato je smiselna uporaba jasnih števil in grafov, ki nam v nasprotju s številnim podatki, s katerimi nas vsakodnevno mediji bombardirajo, omogočajo verodostojnejši pogled na celoto problematiko. Prav zaradi nazornosti je mnogokateri podatek v tej knjigi znova preračunan z običajnim kalkulatorjem in na nivoju zahtevnosti srednješolske matematike.

Že stari Grki so menili, da se morajo državljani aktivno zanimati za dogajanja v svoji mestni državi, s čimer lahko učinkovito volijo svoje predstavnike in prispevajo k rešitvam njenih problemov, za ostale, ki se niso ukvarjali z državnimi problemi, pa so uporabili izraz idioti. Vmes, v globalni dobi, je starogrška mestna država zrasla in postala planet, politika pa je definirana kot urejanje družbenih razmer in zajema tudi problematiko okolja (SSKJ2 2020). Hkrati je okoljska problematika tako kompleksna, da zahteva celovit pristop, tako družboslovni (ekonomski, sociološki in tudi socialni) kot tudi tehnično-naravoslovni (energetski, fizikalni ipd.).

Podnebne spremembe so (le) še ena v nizu okoljskih kriz, ki pestijo človeštvo ob svojem hitrem razvoju. Prva mesta so imela probleme s kužnimi boleznimi, dokler Rimljani niso odkrili kanalizacije. Med dolgim srednjim vekom smo na to pridobitev celo pozabili, dokler nas nanjo niso spet spomnile nove bolezni, na primer kolera. Kurjenje v megamestih je povzročalo strupen smog še do srede prejšnjega stoletja (Martinez 2019), pri nas kar do osemdesetih let, ko se je končno prepovedalo ogrevanje s premogom. Odplake smo zlivali v jezera, reke in morja, strupe zakopavali, kjer se nam je zdelo primerno, smetišča, ki smo jih dojemali kot način obvladovanja odpadkov, so se razraščala prek vseh meja. Podobno kot povsod po svetu tudi v Sloveniji ne manjka lokalnih okoljskih katastrof (z živim srebrom zasuta dolina Idrije in svinca polna Črna na Koroškem, težke kovine na območju Cinkarje Celje, onesnaženje s PCB-ji pri Semiču v Beli krajini in podobno). Vse to vsaj posredno kaže, da so v preteklosti hitro rastoče energetske (in materialne) zahteve vse prevečkrat odločale o stanju okolja. Toda podnebne spremembe se od prejšnjih in lokalnih kriz razlikujejo tudi po tem, da so precej kompleksnejše in da ne obstaja parcialna rešitev, temveč je za to potreben preplet in sodelovanje različnih okoljskih politik. Prav zato je smiselno na glavne koncepte podnebnih sprememb pogledati plastično, kot sem to naredil v preteklih poglavjih.

V tej knjigi zbrani podatki omogočajo dobro osnovo za razumevanje sodobnih energetske-okoljskih dilem človeštva. Predvsem je potreben razmislek o skupni količini energije, ki jo terja sodobno življenje. Vsi napor mednarodne skupnosti so usmerjeni v zavzemanje za večjo energetske učinkovitost na vseh področjih. Čeprav bo to zahtevalo določene spremembe življenjskega sloga, so te dolgoročno bolj smiselne kot pa prelaganje ubadanja z nezajezenimi podnebnimi spremembami na naslednja desetletja. Prav tako so okoljevarstveni zeleni preboji edina smiselna pot za upanje na dolgoročno vzdrževanje ustrezne življenjske ravni. V primeru nebrzdane rasti pa nas čakajo fizikalne omejitve planeta, ki sem jih nakazal skozi v knjigi predstavljene izračune.

## 5.1 Dodatno branje

Čeprav je v knjigi veliko opomb in usmeritev na poljubne in znanstvene članke, knjige, spletne vire ter ostalo, je smiselno ponovno poudariti nekatere dodatne vire.

### Poročila in študije

Mednarodna agencija za obnovljivo energijo IRENA (ang. International Renewable Energy Agency):

- IRENA, Hydrogen from renewable power: Technology outlook for the energy transition, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ISBN 978-92-9260-077-8, Sep. 2018.
- IRENA, Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030, 2017.
- IRENA, Innovation Outlook: Renewable Mini-Grids, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ISBN 978-92-95111-44-8 (PDF), 2016.
- IRENA, Letting in the Light: How solar PV will revolutionise the electricity system, Abu Dhabi, 2016.

Mednarodna agencija za energijo IEA (ang. International Energy Agency):

- IEA, World Energy Outlook 2017, Paris, 2017.
- IEA, Energy Technology Perspectives 2017, p. 371, 2017.

Organizacija za ekonomsko sodelovanje in razvoj OECD (ang. Organisation for Economic Co-operation and Development): OECD/IEA, Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies to 2050, Paris, France, 2010.

Organizacija izvoznic nafte OPEC (ang. Organization of the Petroleum Exporting Countries): OPEC, World oil outlook, 2017.

Medvladna skupina za podnebne spremembe IPCC (ang. Intergovernmental Panel on Climate Change): IPCC, Sixth Assessment Report. AR6 Synthesis Report, 2022

Drugi:

- B. Pfluger, F. Sensfuß, G. Schubert, and J. Leisentritt, Tangible ways towards climate protection in the European Union (EU Long-term scenarios 2050), Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, Karlsruhe, Final Report, Sep. 2011.
- BP, 2018 BP Energy Outlook, 2018.
- Podnebno ogledalo, Center za energetska učinkovitost Instituta Jožef Stefan, 2021.

## Knjige

### Stoodstotna znanost:

- Seinfeld, J. H., Pandis S. N.: 2006. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, 2nd Edition. Wiley-Interscience.
- Pierrehumbert, R. T.: 2010. Principles of Planetary Climate. Cambridge Univ Press.

### Analiza stanja podnebnih sprememb:

- Kolbert, E.: 2014. The Sixth Extinction: An Unnatural History. Picador
- Meadows, D. H.: 2014. Limits to growth: the 30-year update. Chelsea Green Publishing.
- Kajfež Bogataj, L.: 2017. Planet, ki ne raste. Cankarjeva založba.
- Penna, A. N.: 2019. The History of Energy Flows From Human Labor to Renewable Power. Routledge.
- Smil, V.: 2018. Energy and Civilization: A History. London: MIT Press.
- Smil, V.: 2019. Growth: From Microorganisms to Megacities, MIT Press.
- Smith, F. M.: 2019. Economics of a Crowded Planet. Palgrave Macmillan.
- Rhodes, R.: 2018. Energy: A Human History. Simon & Schuster.
- Yergin, D.: 2020: The New Map: Energy, Climate, and the Clash of Nations. Penguin.

### O podnebnih skeptikih in njihovem boju:

- Oreskes, N. and E. M. Conway. 2011. Merchants of Doubt: How a Handful of Scientists Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Climate Change. Bloomsbury Publishing.
- Mann, M. E.: 2021: The New Climate War: The Fight to Take Back Our Planet. PublicAffairs.

### Poti naprej:

- Videmšek, B.: 2020. Plan B : pionirji boja s podnebno krizo in prihodnost mobilnosti. Ljubljana. UMco.
- Gates, B.: 2021. How to Avoid a Climate Disaster: The Solutions We Have and the Breakthroughs We Need. Penguin.



*Parne lokomotive so bile velike in okorne, zapletene in požrešne. Čeprav so jih nadomestile sodobnejše na dizelsko gorivo in elektriko, pa še vedno navdušujejo tako zanesenjake kot tudi otroke vseh starosti.*

## 6

### SUMMARY

A brief historical survey of energy consumption, described in this book, shows how insatiable our civilization is in this respect. Although rapid industrial progress has continued for nearly three centuries, it is only in recent years that we are beginning to realize the importance of our impact on the environment. Fortunately, a growing segment of society is recognizing that the changes to nature caused by human activities are permanent and even destructive in many places. At the same time, this is causing growing tensions with nonconformists who see the emergence of environmental issues as a cover for other concerns that may be more important to them.

Although environmental issues are among the more complex problems, many details can be gleaned with a simple energy balance sheet that helps to perceive large numbers on a global scale. To keep track of energy, I have tried to use a variety of graphical representations: how much energy we use, where we get it from, and how successful or efficient we are. A big focus is on historical changes and how they affected energy use – from the beginnings of agriculture, through the era of the first civilizations and empires and the Middle Ages, to the three industrial revolutions that swept England, Europe, and finally the whole world.

It can be seen that each technological revolution influenced the development of new technologies and increased productivity, which allowed for strong population growth. The population of the Earth grew rapidly during these millennia, from a few tens of millions during the earliest civilizations to several hundred million during the Age of Empires, until it reached the first billion in 1800. It took about 130 years to reach the second billion, and another doubling was only 44 years away. Growth is slowing, however, and in 2020 the human population numbered just over 7.8 billion.

But as the population grows, so do our energy needs. Whereas prehistoric man needed about 100 W of constant power for fire – for heating and occasional baking of food – the average person in the developed world today uses between 4 and 5 thousand W of energy, or 4 to 5 kJ per second, about 50 times more than in ancient times. In the more wasteful countries this ratio is even worse. The question inevitably arises, of course, whether this makes sense, especially since the energy needs of the entire planet are determined by a simple product of population and average consumption. This is one of the reasons why the amount of energy required for civilization to function has increased so much, while at the same time, at least in terms of its position on the Kardashev scale, it has not produced any great leap in technology, with the exception of telecommunications.

The growing awareness of the consequences of energy hoarding also means that more and more criteria are available to determine the impact of human activities on our planet. We distinguish between criteria for carbon footprint, share of renewable energy, even ecological footprint (measured by an area sufficient to meet all our energy needs) and the like. While these criteria are very complex, they are also much more difficult to calculate and require a large amount of data. Therefore, for the analysis of energy relations, I used perhaps the least ideologically charged criterion – the Kardashev scale, which has its roots in cosmology but is also a good estimate of the state of the art of technology. And again, it has been shown that our gigantic energy demands are not innocent and require change. Also, the information gathered suggests that problems like we have now with major climate change can occur in any developed civilization and that these problems may not be easily solved.

The bureaucratically bloated way in which the EU has approached climate change is quite frustrating, because few experts know the many details of the climatological models used, the assessment of emissions, the life cycle analysis of products, etc., but also have a solid, comprehensive overview of the subject and are able to explain this satisfactorily to as wide a public as possible. This path is well described by one of Murphy's laws, which states that if you cannot convince them, you can at least confuse them, which might have the opposite effect on a certain segment of the public. This is one of the reasons why it makes sense to use clear numbers and charts that give us a more credible insight into the whole issue than all the data the media bombards us with on a daily basis. For the sake of clarity, much of the data in this book is recalculated using a standard calculator and at a high school math level.

The ancient Greeks believed that citizens should take an active interest in what was happening in their city-state so that they could effectively elect their



representatives and help solve problems. For others, who took no interest in the affairs of the state, they used the term idiots. Meanwhile, in the global age, the ancient Greek city-state has grown up and become a planet, and politics is defined as the regulation of social relations and includes environmental issues (SSKJ2 2020). At the same time, environmental issues are so complex that they require a comprehensive approach that includes both social sciences (economics, sociology) and technical and natural sciences (energy, physics, etc.).

Climate change is (just) another in a series of environmental crises plaguing rapidly evolving humanity. The first cities had problems with infectious diseases until the Romans discovered sewers. During the long Middle Ages, we even forgot about this achievement until new diseases like cholera reminded us again. Combustion in megacities caused toxic smog until the middle of the last century (Martinez 2019), and in Slovenia until the 1980s, when coal heating was finally banned. We discharged sewage into lakes, rivers, and oceans, buried toxins where we saw fit, and allowed landfills, which we considered a waste disposal option, to proliferate everywhere. Like in the rest of the world, Slovenia does not lack local environmental disasters (the Idrijca valley is full of mercury and Črna na Koroškem is full of lead, heavy metals are in the area of Cinkarje Celje, PCB pollution near Semič in Bela krajina and the like). All this shows, at least indirectly, that the rapidly growing demand for energy (and materials) in the past too often decided the state of the environment. But climate change is also different from past and local crises in that it is much more complex and there is no partial solution, but requires the interconnectedness and cooperation of different environmental policies. It is therefore useful to consider the main concepts of climate change in a descriptive way, as I have done in previous chapters.

The data collected in this book provide a good basis for understanding the energy and environmental dilemmas facing humanity today. Above all, it is necessary to look at the total amount of energy that modern life requires. All efforts by the international community are aimed at working towards greater energy efficiency in all sectors. While this requires certain lifestyle changes, these make more sense in the long run than postponing the fight against unrestrained climate change until future decades. Moreover, environmentally friendly breakthroughs are the only reasonable way to maintain a decent standard of living in the long run. In the case of unbridled growth, however, the physical limits of the planet await us, which I have demonstrated using the calculations presented in this book.

# 7

## SEZNAMA SLIK IN PREGLEDNIC

### Seznam slik

Slika 1: Moč, pridobljena iz prehrane (vodoravna os), in celotna moč na tipično osebo iz sedmih predelov sveta (navpična os). Krožni diagrami predstavljajo delež prehrane v skupni energijski bilanci (Stout 1990; FAO 2000).....	20
Slika 2: Bruto potreba po moči na osebo od leta 1500 do danes (Kander in dr. 2015; E. Cook 1971; Smil 2018).....	23
Slika 3: Potreba po moči na osebo v razvitem delu sveta od leta 1800 do danes z vrisanimi pomembnejšimi svetovnimi obdobji industrijske revolucije, svetovni vojni in krize (Kander in dr. 2015).....	24
Slika 4: Poraba energije na osebo za različne, pretežno evropske države (List of countries by energy consumption per capita 2020).....	25
Slika 5: Tipična moč posameznih naravnih pojavov in človeških naprav (Orders of magnitude (power) 2020).....	26
Slika 6: Izboljšave učinkovitosti različnih svetil od leta 1700 do danes (Smil 2006).....	27
Slika 7: Rast moči največjih energetskega naprav od leta 1700 do danes (Smil 2006).....	28
Slika 8: Zgodovinska porabe energije v ZDA glede na njen vir (EIA 2011; EIA 2020b).....	29
Slika 9: Svetovna poraba energije glede na vir (a) in delež fosilnih goriv (b) od leta 1800 (Smil 2017; BP 2020).....	30
Slika 10: Primerjava porabe energije na prebivalca in bruto družbenega proizvoda na prebivalca za nekaj tipičnih držav vseh celin (EEA 2015).....	31
Slika 11: Zgodovinski razvoj razmerja med bruto družbenim proizvodom in porabo energije, oboje preračunano na prebivalca v zadnjih 30 letih za nekatere zanimivejše evropske države in svetovne velesile (EEA 2015).....	32
Slika 12: Bruto družbeni proizvod večjih evropskih držav (krepko) in nekaterih manjših od leta 1500 dalje (Maddison 1978).....	35
Slika 13: Prebivalstvo sveta v milijonih od leta 10.000 pr. n. št. do danes (UN 2020; Roser 2013a; Maddison 1978).....	38
Slika 14: Prebivalstvo sveta v milijonih od leta 1700 do danes (UN 2020; Roser 2013a; Maddison 1978).....	38

Slika 15: Prebivalstvo Evrope (zgoraj) in Britanskega otočja (spodaj) ter njegova rast od leta 1700 do danes (UN 2020; Roser 2013a; Maddison 1978).....	39
Slika 16: Napovedi rasti števila prebivalstva do konca 21. stoletja (Roser 2013a; Projections of population growth 2020). .....	40
Slika 17: Ilustrirana zgodovina energetskih prelomnic.....	41
Slika 18: Svetovne potrebe po moči v zadnjih 70.000 letih (a), s poudarkom na zadnjih 10.000 letih (b) in letna rast potreb (c) (Agnoletti in Serneri 2014; E. Cook 1971; Smil 2018).....	42
Slika 19: Globalna poraba energije v zadnjih desetletjih, vključno z letno rastjo (BP 2020). .....	43
Slika 20: Svetove potrebe po moči in izpusti CO <sub>2</sub> v zadnjih dveh desetletjih ter napoved za prihodnji desetletji z razdelitvijo po tipu goriva. Primer za nadaljevanje s sedanjimi energetskimi navadami (a), ob delovanje v skladu s sprejetimi okoljskimi zavezami (b) in v skladu s trajnostnim razvojem z uresničenjem dodatnih zavez (c) (IEA 2020).....	44
Slika 21: Shematski prikaz energijskih tokov zemeljske toplotne bilance. Debelina puščic ne odraža velikosti energijskega toka. Slika ne prikazuje neto vpoja 0,6 W/m <sup>2</sup> zemeljske površine (Loeb in dr. 2009).....	48
Slika 22: Shema delovanja podnebnih sprememb (NASA 2019; US GCRP 2019; Pörtner in dr. 2019).....	50
Slika 23: Koncentracija CO <sub>2</sub> , merjena na vrhu Mauna Loe, ognjenika na Havajih, v letih 1958–2020 – Keelingova krivulja (Keeling in dr. 2005; Scripps 2020).....	53
Slika 24: Odklon od temperaturnega povprečja na kopnem od leta 1880 do danes (GISS Surface Temperature Analysis 2020).....	54
Slika 25: Število naravnih katastrof in nesreč zaradi človeške krivde od 1970 do 2014. ....	55
Slika 26: Globalni izpusti CO <sub>2</sub> glede na začetek uvajanja blažilnih ukrepov (Keohane in Goldmark 2008). .....	60
Slika 27: Cena svetovnih stroškov podnebnih sprememb v odvisnosti od ukrepanja ali neukrepanja od danes do leta 2100 (IEA 2010). .....	61
Slika 28: Relativni vpliv povprečne temperature na BDP in histogrami temperatur, poselitve ter BDP (Burke in dr. 2015). .....	62
Slika 29: Vpliv globalnega odklona temperature od dolgoletnega povprečja na padec svetovnega BDP z vneseni datumom študije (Tol 2018).....	63
Slika 30: Sprememba svetovnega BDP na prebivalca do leta 2100 za kvintile prebivalstva glede na BDP.....	64
Slika 31: Rast koncentracije CO <sub>2</sub> (Keelingova krivulja) v letih 2018–2021 z označenim obdobjem pandemije (Keeling in dr. 2005; Scripps 2020). .....	65
Slika 32: Temperature in koncentracije CO <sub>2</sub> v ozračju, določene iz vzorcev ledu, izvrtanega pod Antarktično postajo Vostok v obdobju od 400.000 let pr. n. št do danes (Petit in dr. 1999).....	67
Slika 33: Sončno obsevanje in temperaturni odklon od leta 1880 do 2020 (NASA 2020a).....	69
Slika 34: Sončno obsevanje in temperaturni odklon po letih od 1880 do 2020 (Hawkins 2016).....	69
Slika 35: Poglavitni rezultati petega sinteznega poročila Medvladne skupine za podnebne spremembe: povprečni globalni temperaturni odklon, povprečna globalna višina morske gladine, koncentracije CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O in CH <sub>4</sub> (pike označujejo podatke določene iz ledu, črte iz atmosferskih meritev) ter globalni izpusti CO <sub>2</sub> (IPCC 2014). .....	72
Slika 36: Primerjava meritev in projekcij od leta 1970 do 2020 (Hausfather in dr. 2020).....	73

Slika 37: Primerjava meritev in rezultatov modela Hausteina in kolegov za temperaturni odklon na kopnem za ves svet v obdobju do leta 2100 (Hausfather, Zeke 2017b). .....	75
Slika 38: Letna rast koncentracije CO <sub>2</sub> in letna amplituda Keelingove krivulje (Keeling in dr. 2005; Scripps 2020). .....	76
Slika 39: Model porasta koncentracije CO <sub>2</sub> (Scripps 2020). .....	77
Slika 40: Model realne (rdeča črta) in nestisljive atmosfere (modra črta) (prirejeno po NASA 2014). .....	78
Slika 41: Povprečna temperatura najtoplejšega in najhladnejšega meseca za nekaj sto pomembnejših svetovnih mest vseh celin (Kovač 2021). .....	80
Slika 42: Povprečna temperatura najtoplejšega in najhladnejšega meseca za mesta, ki so toplejša od Ljubljane (Kovač 2021). Črtkana kroga prikazujeta območje s spremembo temperature 1 °C oziroma 2 °C. ....	81
Slika 43: Letna poraba energije v dobi industrializacije in štiri scenariji energetske bodočnosti (Kovač 2020). .....	92

## Seznam preglednic

Preglednica 1: Potreba po mehanski moči pri nekaterih kmečkih opravilih. ....	22
Preglednica 2: Potreba po moči na osebo v razvitih predelih sveta v različnih dobah. ....	22
Preglednica 3: Globalna potreba po moči na osebo od 1990 do 2019. ....	25
Preglednica 4: Stroški zaradi podnebnih sprememb v EU glede na presečna leta in scenarije (Watkiss in dr. 2019) .....	60

## 8

# BIBLIOGRAFIJA

- Agnoletti, M. in S. N. Serner. 2014. The Basic Environmental History. In *Energy in History*, 1–29. Springer.
- Albert Einstein – Wikinavedek. 2018. [https://sl.wikiquote.org/wiki/Albert\\_Einstein](https://sl.wikiquote.org/wiki/Albert_Einstein) 12. 2018.
- Andrews, E. 2016. What Was the Gordian Knot? *HISTORY*. <https://www.history.com/news/what-was-the-gordian-knot> 3. 2. 2016.
- ARSO. 2018. Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. Stoletja. Sintezno poročilo – prvi del. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor. Agencija Republike Slovenije za okolje. [meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/OPS21\\_Porocilo.pdf](https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/OPS21_Porocilo.pdf).
- Atmosphere of Earth. 2020. *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Atmosphere\\_of\\_Earth&oldid=988245954](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Atmosphere_of_Earth&oldid=988245954).
- Bachner, G., F. Bosello, E. Delpiazzo, J. Hinkel, N. Knittel, D. Lincke, R. Parrado, G. Standardi in K. Steininger. 2020. Climate tipping point analysis. Deliverable of the H2020 COACCH project D3.3. <https://www.coacch.eu/wp-content/uploads/2020/10/D3.3-FINAL-to-upload-pdf.pdf>.
- Bastin, J.-F., E. Clark, T. Elliott, S. Hart, J. van den Hoogen, I. Hordijk, H. Ma, S. Majumder, G. Manoli, J. Maschler, L. Mo, D. Routh, K. Yu, C. M. Zohner in T. W. Crowther. 2019a. Understanding climate change from a global analysis of city analogues. *PLOS ONE* 14 (7): e0217592.
- . 2019b. Correction: Understanding climate change from a global analysis of city analogues. *PLOS ONE* 14 (10): e0224120.
- BBC News. 2019. Climate change: How hot cities could be in 2050. *BBC News*, 11. 7., sec. Newsbeat. <https://www.bbc.com/news/newsbeat-48947573>.
- Benzoni, G. 1565. *Historia del Mondo Nuovo (sl. Zgodovina Novega Sveta)*.
- Berkley Earth Data Overview. 2021. <http://berkeleyearth.org/data/> (20. 1. 2021).
- Biello, D. 2011. Plants versus Photovoltaics: Which Are Better to Capture Solar Energy? *Scientific American*. <https://www.scientificamerican.com/article/plants-versus-photovoltaics-at-capturing-sunlight/>.
- Blyth, M. 2019. *A Brief History of How We Got Here and Why*. Summer School in Capitalism, democratic solidarity, and Institutional design. [https://www.youtube.com/watch?v=tJoe\\_daP0DE](https://www.youtube.com/watch?v=tJoe_daP0DE).
- Bolton, J. R. in D. O. Hall. 1991. The Maximum Efficiency of Photosynthesis \*. *Photochemistry and Photobiology* 53 (4): 545–548.
- Boren, Z. 2020. Scientists fear ancient diseases could be released by the melting Arctic. *Unearthed*, 3. 7. <https://unearthed.greenpeace.org/2020/07/03/arctic-permafrost-pandemic-life-uh-finds-a-way/>.

- BP. 2020. Statistical Review of World Energy, 69th edition. London: BP.  
<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>.
- Bralower, T. in D. Bice. 2020. The Economic Costs of Climate Change | EARTH 103: Earth in the Future. Earth 103. College of Earth and Mineral Science, The Pennsylvania State University.  
<https://www.education.psu.edu/earth103/node/717>.
- Broecker, W. 1975. Climatic Change: Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming? *undefined*. /paper/Climatic-Change%3A-Are-We-on-the-Brink-of-a-Global-Broecker/d9a8e1e762c0fbe3d2f72e85def7c6df7882723b 1975.
- Brooks, R. B. 2018. Where Did the Industrial Revolution Take Place? *History of Massachusetts Blog*.  
<https://historyofmassachusetts.org/where-industrial-revolution-take-place/>.
- Brulle, R. J. 2018. The climate lobby: a sectoral analysis of lobbying spending on climate change in the USA, 2000 to 2016. *Climatic Change* 149 (3): 289–303.
- Buis, A. 2019a. The Atmosphere: Getting a Handle on Carbon Dioxide. Sizing Up Humanity's Impacts on Earth's Changing Atmosphere. NASA's Jet Propulsion Laboratory.  
<https://climate.nasa.gov/news/2915/the-atmosphere-getting-a-handle-on-carbon-dioxide>.
- . 2019b. A Degree of Concern: Why Global Temperatures Matter – Climate Change: Vital Signs of the Planet. *Global Climate Change Website*. NASA.  
<https://climate.nasa.gov/news/2865/a-degree-of-concern-why-global-temperatures-matter/>.
- . 2020. Study Confirms Climate Models are Getting Future Warming Projections Right. NASA. Jet Propulsion Laboratory.  
<https://climate.nasa.gov/news/2943/study-confirms-climate-models-are-getting-future-warming-projections-right>.
- Bulliet, R., P. Crossley, D. Headrick, L. Johnson in S. Hirsch. 2008. *The Earth and Its Peoples: A Global History*. Vol. I. Boston, MA: Houghton Mifflin.
- Bunge, M. 2012. *Evaluating philosophies*. Dordrecht: Springer.  
<http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=973825>.
- Burke, M., S. M. Hsiang in E. Miguel. 2015. Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature* 527 (7577): 235–239.
- Byers, Michael in Peacock, Kent A. 2019. Did climate change destroy the aliens? *Bulletin of the Atomic Scientists*.  
<https://thebulletin.org/2019/07/did-climate-change-destroy-the-aliens/>.
- Carbon Emissions Futures Price. 2021. *Investing.com*.  
<https://www.investing.com/commodities/carbon-emissions> (23. 5. 2021).
- Cardwell, M. R. 2013. David Attenborough: someone who believes in infinite growth is “either a madman or an economist.” *Mongabay Environmental News*, sec. Environmental news.  
<https://news.mongabay.com/2013/10/david-attenborough-someone-who-believes-in-infinite-growth-is-either-a-madman-or-an-economist/>.
- Chant, C. 1989. Science and Technology – Problem of Interpretation. Chapter 2. In *Science, Technology, and Everyday Life, 1870-1950*. London: The Open University.
- Climate change feedback. 2021. *Wikipedia*.  
[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Climate\\_change\\_feedback&oldid=1000352790](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Climate_change_feedback&oldid=1000352790).
- Climate Lab Book. 2014. Comparing CMIP5 & observations. <https://www.climate-lab-book.ac.uk/comparing-cmip5-observations/>.
- Coady, D., I. Parry, N.-P. Le in B. Shang. 2019. Global Fossil Fuel Subsidies Remain Large: An Update Based on Country-Level Estimates. IMF Working Paper WP/19/89. International Monetary Fund.  
<https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2019/05/02/Global-Fossil-Fuel-Subsidies-Remain-Large-An-Update-Based-on-Country-Level-Estimates-46509>.
- Cook, E. 1971. The Flow of Energy in an Industrial Society. *Scientific American*.
- Cook, J. 2018. How reliable are climate models? *Skeptical Science*, 29. 12.

- <https://skepticalscience.com/climate-models-intermediate.htm>.
- Costanza, R., J. Cimperland, H. Daly, R. Goodland in R. Norgaard. 1997. *Introduction to ecological economics*. Boca Raton: St. Lucie Press.
- Courtney, A. 2005. Energy and Resources in Perspective: Historical Perspectives of Energy Consumption (GS 361). Western Oregon University.  
<https://www.wou.edu/las/physci/GS361/electricity%20generation/HistoricalPerspectives.htm>.
- COVID-19 pandemic. 2021. *Wikipedia*.  
[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Covid-19\\_pandemic&oldid=1000745984](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Covid-19_pandemic&oldid=1000745984).
- Cowtan, K. in R. Way. 2021. Coverage bias in the HadCRUT4 temperature record. HadCRUT4, Version 2.0. York: Department of Chemistry, University of York. <https://www-users.york.ac.uk/~kdc3/papers/coverage2013/series.html>.
- Damijan, J. P. 2019. Tehnološki pesimizem na pohodu. *DAMIJAN blog*.  
<https://damijan.org/2019/12/18/tehnoloski-pesimizem-na-pohodu/>.
- Davies, P. 1996. *Are We Alone?: Philosophical Implications Of The Discovery Of Extraterrestrial Life*. New York: Basic Books.
- Diamond, J. 1999. The Worst Mistake in the History of the Human Race. *Discover Magazine*, 5. 1.
- Dirt, M. D. 2008. *The Erosion of Civilizations*. Berkeley and Los Angeles, California: University of California Press.
- Driver, K. 2020. History of Agriculture. *Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health*.  
<http://www.foodsystemprimer.org/food-production/history-of-agriculture/> (9. 11. 2020).
- EEA. 2008. Climate change targets: 350 ppm and the EU two-degree target. News. Copenhagen: European Environment Agency.  
<https://www.eea.europa.eu/highlights/climate-change-targets-350-ppm-and-the-eu-2-degree-target>.
- . 2015. Correlation of energy consumption and GDP per person. The European Environment Agency.  
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/correlation-of-per-capita-energy>.
- EIA. 2011. Annual Energy Review 2011: Appendix E. Table E1. Estimated Primary Energy Consumption in the United States, Selected Years, 1635-1945. U.S. Energy Information Administration.  
[https://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/pdf/sec16\\_1.pdf](https://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/pdf/sec16_1.pdf).
- . 2020a. Primary Energy Overview, Table 1.1. Monthly Energy Review. U.S. Energy Information Administration.  
[https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec1\\_3.pdf](https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec1_3.pdf).
- . 2020b. Annual Energy Outlook 2020 with projections to 2050. Washington DC, ZDA: U.S. Energy Information Administration.  
<https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>.
- Ellesøe, M. 2020. *The Campaign Against the Climate*.  
<https://en.cphdox.dk/programme/kampagnen-mod-klimaet>.
- EMDAT. 2020. Number of reported natural disasters. OFDA/CRED International Disaster Database. Brussels, Belgium: Université catholique de Louvain.  
<https://public.emdat.be/>.
- Energy in the United States. 2020. *Wikipedia*.  
[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Energy\\_in\\_the\\_United\\_States&oldid=987678284](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Energy_in_the_United_States&oldid=987678284).
- Eržen, B. 2017. Megle je vedno manj. Zakaj izginja? *Žurnal24*. <https://zurnal24.si/slovenija/megle-je-vedno-manj-zakaj-izginja-293688>.
- eSvet. 2014. Primeri porabe energije.  
<https://www.esvet.si/poraba-energije/potreba-po-energiji/primeri-porabe-energije> 15. 7. 2014.
- European Commission. 2019. Handbook on the external costs of transport : version 2019. Luxemburg: Publications Office of the European Union.  
<http://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e021854b-a451-11e9-9d01-01aa75ed71a1>.
- FAO. 2000. Environment and Natural Resources. Working Paper No. 4. The Energy and Agriculture Nexus. Rim, Italija: Food and Agriculture Organization of The United Nations.

- . 2004. Human energy requirements – Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. FAO Food and Nutrition Technical Report. Series 1. Rim, Italija: World Health Organization, Food and Agriculture Organization of The United Nations.
- Fletcher, L., T. Crocker, J. Smyth in K. Marcell. 2018. Beyond the cycle - Which oil and gas companies are ready for the low-carbon transition? Oil and gas report. Disclosure Insight Action. <https://www.cdp.net/en/investor/sector-research/oil-and-gas-report>.
- Fry, H. 2019. Why Weather Forecasting Keeps Getting Better. *The New Yorker*, 24. 6. <https://www.newyorker.com/magazine/2019/07/01/why-weather-forecasting-keeps-getting-better>.
- Galey, Patrick. 2019. Climate impacts “to cost world \$7.9 trillion” by 2050. *Phys.org*. <https://phys.org/news/2019-11-climate-impacts-world-trillion.html>.
- Gates, B. 2013. *Innovating to zero!* TED Talk. TED2010. Long Beach, Kalifornija, ZDA. [https://www.ted.com/talks/bill\\_gates\\_innovating\\_to\\_zero](https://www.ted.com/talks/bill_gates_innovating_to_zero).
- . 2021. *How to Avoid a Climate Disaster: The Solutions We Have and the Breakthroughs We Need*. 1st edition. Penguin.
- GDP. 2020. The World Bank. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>.
- Geologic temperature record. 2021. *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Geologic\\_temperature\\_record&oldid=1000118342](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Geologic_temperature_record&oldid=1000118342).
- Georgescu-Roegen, N. 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674281653>.
- Giger, P. 2021. Climate change will be sudden and cataclysmic. We need to act fast. *World Economic Forum*, 19. 1. <https://www.weforum.org/agenda/2021/01/climate-change-sudden-cataclysmic-need-act-fast/>.
- GISS Surface Temperature Analysis. 2020. GISTEMP v4. National Aeronautics and Space Administration. [data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/](http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/).
- Gleick, P. H. 2020. A History of U.S. Defense, Intelligence, and Security Assessments of Climate Change. <https://www.gleick.com/blog/a-history-of-u-s-defense-intelligence-and-security-assessments-of-climate> (14. 11. 2020).
- Global Surface Temperature Anomalies. 2021. National Centers for Environmental Information (NCEI), National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/anomalies.php>.
- Goodwin, M. in C. Milazzo. 2017. Taking back control? Investigating the role of immigration in the 2016 vote for Brexit: *The British Journal of Politics and International Relations*. Sage UK: London, England <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1369148117710799>.
- Gorenc, Tomaž. 2020. Kaj je ekološki odtis. Eionet-SI. <http://nfp-si.eionet.europa.eu/publikacije/Datoteke/Okoljski%20odtis/Zgibanika%20Okoljski%20Odtis.pdf> (16. 11. 2020).
- Hall, S. 2015. Exxon Knew about Climate Change almost 40 years ago. *Scientific American*, 26. 10. <https://www.scientificamerican.com/article/exxon-knew-about-climate-change-almost-40-years-ago/>.
- Hansen, J., D. Johnson, A. Lacis, S. Lebedeff, P. Lee, D. Rind in G. Russell. 1981. Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide. *Science* 213 (4511): 957–966.
- Hanson, Robin. 1998. The Great Filter. George Mason University. <http://mason.gmu.edu/~rhanson/greatfilter.html>.
- Hansson, S. O. 2021. Science and Pseudo-Science. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, ur. E. N. Zalta, Summer 2021. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/sum2021/entries/pseudo-science/>.
- Harvey, C. 2019. Climate Models Got It Right on Global Warming. *Scientific American*, 5. 12. <https://www.scientificamerican.com/article/climate-models-got-it-right-on-global-warming/>.



- Hassler, J., P. Krusell, T. Persson in P. Strömberg. 2018. Integrating nature and knowledge into economics. The Royal Swedish Academy of Sciences. <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2018/popular-information/>.
- Hausfather, Z., H. F. Drake, T. Abbott in G. A. Schmidt. 2020. Evaluating the Performance of Past Climate Model Projections. *Geophysical Research Letters* 47 (1): e2019GL085378.
- Hausfather, Zeke. 2017a. Analysis: How well have climate models projected global warming? | Carbon Brief. *Carbon Brief*. <https://www.carbonbrief.org/analysis-how-well-have-climate-models-projected-global-warming>.
- . 2017b. Analysis: Why scientists think 100% of global warming is due to humans. *Carbon Brief*. <https://www.carbonbrief.org/analysis-why-scientists-think-100-of-global-warming-is-due-to-humans>.
- Haustein, K., M. R. Allen, P. M. Forster, F. E. L. Otto, D. M. Mitchell, H. D. Matthews in D. J. Frame. 2017. A real-time Global Warming Index. *Scientific Reports* 7 (1): 15417.
- Hawkins, E. 2016. Spiralling global temperatures. *Climate Lab Book*. <http://www.climate-lab-book.ac.uk/2016/spiralling-global-temperatures/>.
- Historical Timeline - Alternative Energy. 2013. *Alternative Energy*. <https://alternativeenergy.procon.org/historical-timeline/> 6. 2013.
- History of patent law. 2020. *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=History\\_of\\_patent\\_law&oldid=985071077](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=History_of_patent_law&oldid=985071077).
- Hoerner, S. V. 1975. Population Explosion and Interstellar Expansion. *Journal of the British Interplanetary Society* 28: 22.
- Howell, E. 2018. Fermi Paradox: Where Are the Aliens? *Space.com*, 27. 4. <https://www.space.com/25325-fermi-paradox.html>.
- ICOS. 2021. Integrated Carbon Observation System. <https://www.icos-cp.eu/> (17. 1. 2021).
- IEA. 2010. Energy Technology Perspectives 2010. Paris, France: International Energy Agency. [https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/energy\\_tech-2010-en](https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/energy_tech-2010-en).
- . 2020. Key World Energy Statistics 2020. Statistics report. Paris: International Energy Agency.
- . 2020. World Energy Outlook 2020. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020> (16. 11. 2020).
- Impacts of the Industrial Revolution. 2016. *History Crunch - History Articles, Summaries, Biographies, Resources and More*. <https://www.historycrunch.com/impacts-of-the-industrial-revolution.html>.
- InfluenceMap. 2019. Big Oil's Real Agenda on Climate Change. InfluenceMap. <https://influencemap.org/report/How-Big-Oil-Continues-to-Oppose-the-Paris-Agreement-38212275958aa21196dae3b76220bddc>.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014 Synthesis Report Fifth Assessment Report: Summary for Policymakers. Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. [https://ar5-syr.ipcc.ch/topic\\_summary.php](https://ar5-syr.ipcc.ch/topic_summary.php).
- . 2021. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://archive.ipcc.ch/> (20. 1. 2021).
- Johnston, R. 2015. Historical world population data. Johnston's Archive. <http://johnstonsarchive.net/other/worldpop.html>.
- Jones, C. I. 2001. *Introduction to Economic Growth*. Second edition. New York: W. W. Norton & Company.
- Kaempffert, W. 1956. Science in Review: Warmer Climate on the Earth May Be Due To More Carbon Dioxide in the Air. *The New York Times*, 28. 10., sec. Science.
- Kander, A., P. Malanima in P. Warde. 2015. *Power to the People: Energy in Europe over the Last Five Centuries*. Princeton University Press.
- Kapoor, A. in Debroy. 2019. GDP Is Not a Measure of Human Well-Being. *Harvard Business Review*, 4. 10. <https://hbr.org/2019/10/gdp-is-not-a-measure-of-human-well-being>.
- Kardashev scale. 2020. *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Kardashev\\_scale&oldid=988076439](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Kardashev_scale&oldid=988076439).

- Kasprak, A. in D. Evon. 2015. Does a Single Volcanic Eruption Release as Much CO<sub>2</sub> As All of Humanity Has to Date? *Snopes.com*, 12. <https://www.snopes.com/fact-check/volcano-carbon-emissions/>.
- Keeling, C. D. 1960. The Concentration and Isotopic Abundances of Carbon Dioxide in the Atmosphere - NASA/ADS. *Tellus* 12 (2): 200–203.
- Keeling, C. D., S. C. Piper, R. B. Bacastow, M. Wahlen, T. P. Whorf, M. Heimann in H. A. Meijer. 2005. Atmospheric CO<sub>2</sub> and 13CO<sub>2</sub> Exchange with the Terrestrial Biosphere and Oceans from 1978 to 2000: Observations and Carbon Cycle Implications. In *A History of Atmospheric CO<sub>2</sub> and Its Effects on Plants, Animals, and Ecosystems*, ur. I. T. Baldwin, M. M. Caldwell, G. Heldmaier, R. B. Jackson, O. L. Lange, H. A. Mooney, E.-D. Schulze, U. Sommer, J. R. Ehleringer, M. Denise Dearing in T. E. Cerling, 83–113. Ecological Studies. New York, NY: Springer. [https://doi.org/10.1007/0-387-27048-5\\_5](https://doi.org/10.1007/0-387-27048-5_5).
- Keeling Curve. 2020. *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Keeling\\_Curve&oldid=982852057](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Keeling_Curve&oldid=982852057).
- Keohane, N. in P. Goldmark. 2008. What Will it Cost to Protect Ourselves from Global Warming? The Impacts On The U.S. Economy Of A Cap-And-Trade Policy For Greenhouse Gas Emissions. Environmental Defense Fund.
- Köppen, W. in A. Wegener. 1924. *The Climates of the Geological Past - Die Klimate der geologischen Vorzeit*. Borntraeger. [https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783443010881/Koppen\\_Wegener\\_Die\\_Klimate\\_der\\_geologis](https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783443010881/Koppen_Wegener_Die_Klimate_der_geologis).
- Kovač, M. 2000a. Naelektreno trgovanje s plini. *Dnevnik*, 25. 11.
- . 2000b. Opazno lobiranje zelenih priponk. *Dnevnik*, 30. 11.
- . 2020. Podnebne spremembe kot Veliki filter razvoja (naše) civilizacije. *Alternator*, 15. 10. [alternator.science/sl/daljse/podnebnem-spremembe-kot-veliki-filter-razvoja-nase-civilizacije/](https://alternator.science/sl/daljse/podnebnem-spremembe-kot-veliki-filter-razvoja-nase-civilizacije/).
- . 2021. Koliko kilometrov je ena stopinja Celzija? LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/koliko-kilometrov-je-ena-stopinja-celzija-marko-kova%25C4%258D/24.5.2021>.
- Kovač, M., A. Urbančič in D. Staničič. 2018. Potencial sončnih elektrarn na strehah objektov v Sloveniji do leta 2050 Deliverable C1.1 Climate Mitigation 2050. Potentials and Mid-term Challenges, Part 5B. LIFE Climate Path 2050 (LIFE16 GIC/SI/000043). Delovno poročilo IJS-DP-12619, ver.1.0. Ljubljana: Institut "Jožef Stefan", Center za energetske učinkovitost (CEU). [podnebnapot2050.si/wp-content/uploads/2020/06/Deliverable\\_C\\_1\\_1-Part-5B-Potencial-son%C4%8Dnih-elektrarn-na-strehah-objektov-v-Sloveniji.pdf](https://podnebnapot2050.si/wp-content/uploads/2020/06/Deliverable_C_1_1-Part-5B-Potencial-son%C4%8Dnih-elektrarn-na-strehah-objektov-v-Sloveniji.pdf).
- Kučič, L. J. 2018. Poplave v Sloveniji: milijardna škoda, za katero smo največ krivi sami. *Pod črto*, 6. 12. <https://podcrto.si/poplave-v-sloveniji-milijardna-skoda-za-katero-smo-najvec-krivi-sami/>.
- Le Quéré, C., R. B. Jackson, M. W. Jones, A. J. P. Smith, S. Abernethy, R. M. Andrew, A. J. De-Gol, D. R. Willis, Y. Shan, J. G. Canadell, P. Friedlingstein, F. Creutzig in G. P. Peters. 2020. Temporary reduction in daily global CO<sub>2</sub> emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change* 10 (7): 647–653.
- Leggett, J. 1993. Climate Change and the Insurance Industry - Solidarity among the Risk Community? Greenpeace. [solar-aid.org/wp-content/uploads/2018/02/leggett-insurance-climate.pdf](https://www.greenpeace.org/solar-aid.org/wp-content/uploads/2018/02/leggett-insurance-climate.pdf).
- Leipzig Declaration. 2020. *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Leipzig\\_Declaration&oldid=960723357](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Leipzig_Declaration&oldid=960723357).
- Lemarchand, G. A. 2000. Detectability of Intelligent Life in the Universe: A Search Based in our Knowledge of the Laws of Nature. In *Astrobiology*, ur. J. Chela-Flores, G. A. Lemarchand in J. Oró, 13–32. Dordrecht: Springer Netherlands.
- LIFE. 2017. Life Climate Path 2050. Letno podnebno ogledalo. Ljubljana, Slovenia: IJS in dr. <https://www.podnebnapot2050.si/rezultati-slovenije/letno-podnebno-ogledalo/>.
- . 2019. CARE4CLIMATE - Dosežki projekta. *CARE4CLIMATE*. <https://www.care4climate.si/sl/o-projektu/dosezki-projekta> 2019.

- Lindsey, R. 2020. Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. *ClimateWatch Magazine*. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>.
- List of cities by average temperature. 2020. *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List\\_of\\_cities\\_by\\_average\\_temperature](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List_of_cities_by_average_temperature).
- List of countries by energy consumption per capita. 2020. *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List\\_of\\_countries\\_by\\_energy\\_consumption\\_per\\_capita&oldid=945992897](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List_of_countries_by_energy_consumption_per_capita&oldid=945992897).
- Liu, Z., P. Ciais, Z. Deng, R. Lei, S. J. Davis, S. Feng, B. Zheng, D. Cui, X. Dou, B. Zhu, R. Guo, P. Ke, T. Sun, C. Lu, P. He, Y. Wang, X. Yue, Y. Wang, Y. Lei, H. Zhou, Z. Cai, Y. Wu, R. Guo, T. Han, J. Xue, O. Boucher, E. Boucher, F. Chevallier, K. Tanaka, Y. Wei, H. Zhong, C. Kang, N. Zhang, B. Chen, F. Xi, M. Liu, F.-M. Bréon, Y. Lu, Q. Zhang, D. Guan, P. Gong, D. M. Kammen, K. He in H. J. Schellnhuber. 2020. Near-real-time monitoring of global CO<sub>2</sub> emissions reveals the effects of the COVID-19 pandemic. *Nature Communications* 11 (1): 5172.
- Loeb, N. G., G. C. Johnson, T. J. Thorsen, J. M. Lyman, F. G. Rose in S. Kato. 2021. Satellite and Ocean Data Reveal Marked Increase in Earth's Heating Rate. *Geophysical Research Letters* 48 (13): e2021GL093047.
- Loeb, N. G., B. A. Wielicki, D. R. Doelling, G. L. Smith, D. F. Keyes, S. Kato, N. Manalo-Smith in T. Wong. 2009. Toward Optimal Closure of the Earth's Top-of-Atmosphere Radiation Budget. *Journal of Climate* 22 (3): 748–766.
- Lomborg, B. 2001. *The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World*. 1st edition. Cambridge ; New York: Cambridge University Press.
- Maddison, A. 1978. The Maddison Project. Groningen: Groningen Growth and Development Centre, University of Groningen. <https://www.rug.nl/ggdc/historicaldevelopment/maddison/>.
- Malthus, T. 1789. *An Essay on the Principle of Population*. London: J. Johnson.
- Mann, M. E. 2021. *The New Climate War: The Fight to Take Back Our Planet*. New York: PublicAffairs.
- Martinez, J. 2019. Great Smog of London: Environmental disaster, England, United Kingdom [1952]. *Encyclopædia Britannica*. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/event/Great-Smog-of-London>.
- Mason, James. 2014. Phosphine in the atmosphere of Venus — what does it mean? *Medium*, 14. 9. [https://medium.com/@jamesmason\\_97462/p/phosphine-in-the-atmosphere-of-venus-what-does-it-mean-b0625e0a992e](https://medium.com/@jamesmason_97462/p/phosphine-in-the-atmosphere-of-venus-what-does-it-mean-b0625e0a992e).
- Mason, John. 2020. The History of Climate Science. *Skeptical Science*. <https://skepticalscience.com/history-climate-science.html>.
- Masui, T., K. Matsumoto, Y. Hijioka, T. Kinoshita, T. Nozawa, S. Ishiwatari, E. Kato, P. R. Shukla, Y. Yamagata in M. Kainuma. 2011. An emission pathway for stabilization at 6 Wm<sup>-2</sup> radiative forcing. *Climatic Change* 109 (1): 59.
- Meadows, D. H. 2014. *Limits to growth: the 30-year update*. Chelsea Green Publishing. <https://www.overdrive.com/search?q=1211A20B-282A-4ECE-B81B-B68B5E4F1A7C>.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers, W. W. Behrens, in Club di Roma. 1972. *The Limits To Growth*. London: Earth Island.
- Met Office Hadley Centre observations datasets. 2021. HadCRUT4. Met Office Hadley Centre and the Climatic Research Unit at the University of East Anglia. <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut4/>.
- Milanković, M. 1920. *Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire*, Paris: Gauthier-Villars et Cie.
- Mills, E. 2009. A Global Review of Insurance Industry Responses to Climate Change. *The Geneva Papers on Risk and Insurance - Issues and Practice* 34 (3): 323–359.
- Mirchandani, V. 2012. *The New Technology Elite: How Great Companies Optimize Both Technology Consumption and Production*. 1st edition. Wiley.
- Mokyr, J. 1998. *The British Industrial Revolution: An Economic Perspective*. 2nd edition. Boulder, CO: Routledge.
- Monroe, R. 2013. Why are Seasonal CO<sub>2</sub> Fluctuations Strongest at Northern Latitudes?

- The Keeling Curve*.  
<https://sioweb.ucsd.edu/programs/keelingcurve/2013/05/07/why-are-seasonal-co2-fluctuations-strongest-in-northern-latitudes/>  
 7. 5. 2013.
- Moore, T. R. 1989. Ideology. Sec 1.3. In *Science, Technology, and Everyday Life, 1870-1950*. London: The Open University.
- Mühleisen, M. 2018. The Impact of Digital Technology on Society and Economic Growth. *IMF Finance & Development* 55 (2).  
<https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2018/06/impact-of-digital-technology-on-economic-growth/muhleisen.htm>.
- Mullan, B. in J. Haqq-Misra. 2019. Population growth, energy use, and the implications for the search for extraterrestrial intelligence. *Futures* 106. Detectability of Future Earth: 4–17.
- Muralikumar, M. D. 2019. Limits to Growth: Analyzing Technology's Role. UC Irvine.  
<https://escholarship.org/uc/item/4xr9p848>.
- NASA. 2014. Earth Atmosphere Model - English Units. Glenn Research Center, NASA.  
<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/VirtualAero/BottleRocket/airplane/atmos.html>.
- . 2019. The Causes of Climate Change. NASA. <https://climate.nasa.gov/causes>.
- . 2020a. Graphic: Temperature vs Solar Activity. NASA.  
[https://climate.nasa.gov/climate\\_resources/189/graphic-temperature-vs-solar-activity](https://climate.nasa.gov/climate_resources/189/graphic-temperature-vs-solar-activity).
- . 2020b. Climate Change: Vital Signs of the Planet. NASA. <https://climate.nasa.gov/>.
- NEPN. 2020. Celoviti nacionalni energetski in podnebni načrt Republike Slovenije. Ljubljana: Vlada Republike Slovenije.  
[https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/nepn/dokumenti/nepn\\_5.0\\_final\\_feb-2020.pdf](https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/nepn/dokumenti/nepn_5.0_final_feb-2020.pdf).
- Neumann, J. 1985. Climatic change as a topic in the classical Greek and Roman literature. *Climatic Change* 7 (4): 441–454.
- Newman, W. I. in C. Sagan. 1981. Galactic civilizations: Population dynamics and interstellar diffusion. *Icarus* 46 (3): 293–327.
- NOAA. 2020. Global Monitoring Laboratory - Carbon Cycle Greenhouse Gases. US Department of Commerce, NOAA.  
<https://esrl.noaa.gov/gmd/outreach/isotopes/c13tellsus.html> (16. 11. 2020).
- North, D. C. in R. P. Thomas. 1973. *The Rise of the Western World: A New Economic History*. New York: Cambridge University Press.
- NREL. 2020. Best Research-Cell Efficiency Chart. National Renewable Energy Laboratory.  
<https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies.20200925.pdf>.
- Nuccitelli, D., R. Way, R. Painting in J. Cook. 2012. Nuccitelli et al. (2012) Show that Global Warming Continues. *Nuccitelli et al. (2012) Show that Global Warming Continues*.  
<https://skepticalscience.com/nuccitelli-et-al-2012.html>.
- Nuvolari, A. in C. Macleod. 2010. Patents and Industrialisation: An Historical Overview of the British Case, 1624-1907. SSRN Scholarly Paper ID 2019844. Rochester, NY: Social Science Research Network.  
<https://papers.ssrn.com/abstract=2019844>.
- Odum, H. T. 1994. *Ecological and general systems: an introduction to systems ecology*. Niwot, Colo.: Univ. Press of Colorado.
- OECD. 2015. Climate change: Consequences of inaction. OECD at #COP21. Swiss Re Economic Research.  
<http://www.oecd.org/environment/climate-change-consequences-of-inaction.htm>.
- Orders of magnitude (power). 2020. *Wikipedia*.  
[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Orders\\_of\\_magnitude\\_\(power\)&oldid=984561185](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Orders_of_magnitude_(power)&oldid=984561185).
- Oreskes, N. 2004. The Scientific Consensus on Climate Change. *Science* 306 (5702): 1686–1686.
- Oreskes, N. in E. M. Conway. 2011. *Merchants of Doubt: How a Handful of Scientists Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Climate Change*. Reprint edition. New York, NY: Bloomsbury Publishing.
- Pachauri, R. K. in L. A. Meyer. 2020. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC.

- [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf).
- Pahor, P. 2006. Ljubljanska megla je ogrožena. *Dnevnik*, 13. 11. <https://www.dnevnik.si/211632>.
- Pain, S. 2017. Power through the ages. *Nature* 551 (7682): S134–S137.
- Panjek, A. 2015. *Kulturna krajina in okolje Krasa – o rabi naravnih virov v novem veku*. Koper: Založba Univerze na Primorskem. <http://hippocampus.si/ISBN/978-961-6963-35-0.pdf>.
- Penna, A. N. 2019. *A History of Energy Flows: From Human Labor to Renewable Power*. 1st edition. London ; New York: Routledge.
- Permentier, K., S. Vercammen, S. Soetaert in C. Schellemans. 2017. Carbon dioxide poisoning: a literature review of an often forgotten cause of intoxication in the emergency department. *International Journal of Emergency Medicine* 10. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5380556/>.
- Pessimism v progress. 2019. *The Economist*, 18. 12. <https://www.economist.com/leaders/2019/12/18/pessimism-v-progress>.
- Petit, J. R., J. Jouzel, D. Raynaud, N. I. Barkov, J.-M. Barnola, I. Basile, M. Bender, J. Chappellaz, M. Davis, G. Delaygue, M. Delmotte, V. M. Kotlyakov, M. Legrand, V. Y. Lipenkov, C. Lorius, L. Pépin, C. Ritz, E. Saltzman in M. Stievenard. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399 (6735): 429–436.
- Pörtner, H.-O., D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama in N. M. Weyer. 2019. Summary for Policymakers: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. IPCC. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/03\\_SROCC\\_SPM\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/03_SROCC_SPM_FINAL.pdf).
- Pretnar, B. 2020. *Intelektualna lastnina in tržno uspešne inovacije: priročnik za managerje, raziskovalce in izumitelje: 9789612474294*: Ljubljana, Slovenia: GV Založba. <https://www.emka.si/webapp/wcs/stores/servlet/sl/emkasi/intelektualna-lastnina-in-tr%25BEno-uspe%25A1ne-inovacije-p-9789612474294>.
- Projections of population growth. 2020. *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Projections\\_of\\_population\\_growth&oldid=988358621](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Projections_of_population_growth&oldid=988358621).
- Psychology of climate change denial. 2020. *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Psychology\\_of\\_climate\\_change\\_denial&oldid=977903322](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Psychology_of_climate_change_denial&oldid=977903322).
- Quaschnig, V. 2020. Specific carbon dioxide emissions of various fuels. *Volker Quaschnig - Erneuerbare Energien und Klimaschutz*. <https://www.volker-quaschnig.de/datserv/CO2-spez/index.php> (16. 11. 2020).
- Rasmussen, C. E. 2021. Atmospheric Carbon Dioxide Growth Rate. *Cambridge Machine Learning Group*. <http://mlg.eng.cam.ac.uk/> 13. 1. 2021.
- Ratner, P. 2016. 7 Types of Advanced Cosmic Civilizations. *Big Think*. <https://bigthink.com/paul-ratner/this-mind-bending-scale-predicts-the-power-of-advanced-civilizations>.
- Revkin, A. 2018. Climate Change First Became News 30 Years Ago. Why Haven't We Fixed It? *National Geographic magazine*, 21. 6. <https://www.nationalgeographic.com/magazine/2018/07/embark-essay-climate-change-pollution-revkin/>.
- Rhodes, R. 2018. *Energy: A Human History*. 1st edition. New York: Simon & Schuster.
- Ritchie, H. in M. Roser. 2014. Energy. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/energy>.
- . 2020. CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.
- . 2021. CO<sub>2</sub> emissions. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/co2-emissions> (17. 1. 2021).
- Rockeman, Olivia. 2020. Summers Says Covid-19 Will End Up Costing U.S. \$16 Trillion. *Bloomberg.com*, 12. 10. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-10-12/summers-says-covid-19-will-end-up-costing-u-s-16-trillion>.

- Rohm, J. 2016. Why Bill Gates' Math Error About Climate Change Matters. *Think Progress*. <https://archive.thinkprogress.org/why-bill-gates-math-error-about-climate-change-matters-e220c126b952/>.
- Roser, M. 2013a. Future Population Growth. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/future-population-growth>.
- . 2013b. Economic Growth. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/economic-growth>.
- Roser, M. in E. Ortiz-Ospina. 2013. Income Inequality. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/income-inequality>.
- Roser, M., H. Ritchie in E. Ortiz-Ospina. 2013. World Population Growth. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/world-population-growth>.
- Roser, M., H. Ritchie, E. Ortiz-Ospina in J. Hasell. 2020. Coronavirus Pandemic (COVID-19). *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/coronavirus>.
- Rosling, H. 2010. *The magic washing machine*. TEDWomen 2010. [https://www.ted.com/talks/hans\\_rosling\\_the\\_magic\\_washing\\_machine](https://www.ted.com/talks/hans_rosling_the_magic_washing_machine).
- Rosling, H., O. Rosling in A. R. Rönnlund. 2020. *Factfulness: ten reasons we're wrong about the world - and why things are better than you think*.
- Sagan, C. 1997. *Contact*. Simon and Schuster.
- Schwab, Jeremy. 2020. Fighting COVID-19 could cost 500 times as much as pandemic prevention measures. *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/agenda/2020/08/pandemic-fight-costs-500x-more-than-preventing-one-futurity/>.
- scripps. 2020. Primary Mauna Loa CO2 Record: Scripps CO2 Program. Scripps Institution of Oceanography. [https://scrippsco2.ucsd.edu/data/atmospheric\\_co2/primary\\_mlo\\_co2\\_record.html](https://scrippsco2.ucsd.edu/data/atmospheric_co2/primary_mlo_co2_record.html).
- Shell. 1988. The Greenhouse Effect. Internal Report. Shell's Greenhouse Effect Working Group. <http://www.climatefiles.com/shell/1988-shell-report-greenhouse/>.
- Shutdown of thermohaline circulation. 2021. *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Shutdown\\_of\\_thermohaline\\_circulation&oldid=999689362](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Shutdown_of_thermohaline_circulation&oldid=999689362).
- Siegel, E. 2017. How Much CO2 Does A Single Volcano Emit? *Forbes*, 6. 6. <https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2017/06/06/how-much-co2-does-a-single-volcano-emit/>.
- SIST. 2001. SIST-DIN 1946-6 5. 2009. Slovenski inštitut za standardizacijo.
- Smil, V. 2006. *Energy: A Beginner's Guide*. Oxford: Oneworld.
- . 2017. *Energy transitions: global and national perspectives*.
- . 2018. *Energy and Civilization: A History*. London: MIT Press.
- . 2019. *Growth: from microorganisms to megacities*. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=2247466>.
- Smith, F. M. 2019. *Economics of a Crowded Planet*. Palgrave Macmillan. <https://www.palgrave.com/gp/book/9783030317973>.
- Snow, C. P. 1959. *The Two Cultures*. London: Cambridge University Press.
- Sperling, D. in L. Fulton. 2020. Oil companies are thinking about a low-carbon future, but aren't making big investments in it yet. *The Conversation*. <http://theconversation.com/oil-companies-are-thinking-about-a-low-carbon-future-but-arent-making-big-investments-in-it-yet-122365> (27. 12. 2020).
- SSKJ2. 2020. *Slovar slovenskega knjižnega jezika, druga, dopolnjena in deloma prenovljena izdaja*. 2. Ljubljana, Slovenia: Inštitut za slovenski jezik Frana Ramovša ZRC SAZU. <https://fran.si/iskanje?View=1&Query=politika> (17. 11. 2020).
- Stemwedel, J. D. 2015. The Philosophy of Star Trek: The Kobayashi Maru, No-Win Scenarios, and Ethical Leadership. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/janetstemwedel/2015/08/23/the-philosophy-of-star-trek-the-kobayashi-maru-no-win-scenarios-and-ethical-leadership/> 23. 8. 2015.
- Stout, B. A. 1990. *Handbook of energy for world agriculture*. Sole distributor in the USA and Canada, Elsevier Science Pub. Co.

- <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300652704>.
- Strohmaier, R., M. Schuetz in S. Vannucci. 2019. A systemic perspective on socioeconomic transformation in the digital age. *Journal of Industrial and Business Economics* 46 (3): 361–378.
- Supran, G. in N. Oreskes. 2017. Assessing ExxonMobil's climate change communications (1977–2014). *Environmental Research Letters* 12 (8). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa815f>.
- Swim, J., S. Clayton, T. Doherty, R. Gifford, G. Howard, J. Reser, P. Stern in E. Weber. 2009. Psychology and Global Climate Change: Addressing a Multi-faceted Phenomenon and Set of Challenges. Report by the American Psychological Association's Task Force on the Interface Between Psychology and Global Climate Change. American Psychological Association. <https://www.apa.org/science/about/publications/climate-change>.
- The Leipzig Declaration on Global Climate Change. 1995. Science and Environmental Policy Project. [sepp.org/leipzig.html](http://sepp.org/leipzig.html).
- Toba catastrophe theory. 2020. *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Toba\\_catastrophe\\_theory&oldid=988039359](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Toba_catastrophe_theory&oldid=988039359).
- Tol, R. S. J. 2018. The Economic Impacts of Climate Change. *Review of Environmental Economics and Policy* 12 (1): 4–25.
- Toth, N. in K. D. Schick. 1986. The First Million Years: The Archaeology of Protohuman Culture. *Advances in Archaeological Method and Theory* 9: 1–96.
- UN. 2020. World Population Prospects 2019. Population Division. United Nations. <https://population.un.org/wpp/>.
- US GCRP. 2019. Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment. NCA4, Volume I. U.S. Global Change Research Program. <https://science2017.globalchange.gov/>.
- Uscinski, J. E., K. Douglas in S. Lewandowsky. 2017. Climate Change Conspiracy Theories. *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*. <https://oxfordre.com/climatescience/view/10.1093/acrefore/9780190228620.001.0001/acrefore-9780190228620-e-328>.
- Vakoch, D. A. in M. F. Dowd, ed. 2015. *The Drake Equation: Estimating the Prevalence of Extraterrestrial Life through the Ages*. Illustrated edition. New York: Cambridge University Press.
- van Zalk, J. in P. Behrens. 2018. The spatial extent of renewable and non-renewable power generation: A review and meta-analysis of power densities and their application in the U.S. *Energy Policy* 123: 83–91.
- Victor, P. A. 2008. *Managing without growth: slower by design, not disaster*. Cheltenham, UK; Northampton, MA: Edward Elgar.
- Vigen, T. 2015. *Spurious correlations*.
- Wackernagel, M. 1994. Ecological footprint and appropriated carrying capacity : a tool for planning toward sustainability. University of British Columbia. <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/ubctheses/831/items/1.0088048>.
- Waite, B. 1989. Everyday Life: A Historical Analysis, c.1870–1950. Chapter 1. In *Science, Technology, and Everyday Life, 1870-1950*. London: The Open University.
- Watkins, P., J. Troeltzsch, K. McGlade in M. Watkins. 2019. The Economic Cost of Climate Change in Europe: Policy brief for the COACCH project. Synthesis Report on Interim Results. <https://www.coacch.eu/wp-content/uploads/2019/11/COACCH-Sector-Impact-Economic-Cost-Results-22-Nov-2019-Web.pdf>.
- Weart, S. R. 2008. *The Discovery of Global Warming: Revised and Expanded Edition*. 2nd edition. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Williams, H. T. P., J. R. McMurray, T. Kurz in F. Hugo Lambert. 2015. Network analysis reveals open forums and echo chambers in social media discussions of climate change. *Global Environmental Change* 32: 126–138.
- World energy consumption. 2020. *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=World\\_energy\\_consumption&oldid=987769337](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=World_energy_consumption&oldid=987769337).
- World Health Organization. 2019. Ten threats to global health in 2019. Spotlight. [who.int/news-room/feature-stories/ten-threats-to-global-health-in-2019](http://who.int/news-room/feature-stories/ten-threats-to-global-health-in-2019).
- World population. 2020. *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=World\\_population&oldid=985880143](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=World_population&oldid=985880143).

- Worldometer. 2020. Worldometer - real time world statistics. *Worldometer*.  
<http://www.worldometers.info/> (11. 11. 2020).
- Wunderling, N., J. F. Donges, J. Kurths in R. Winkelmann. 2021. Interacting tipping elements increase risk of climate domino effects under global warming. *Earth System Dynamics* 12 (2): 601–619.
- Zaplotnik, Ž. 2020. Razumeti podnebne spremembe. *Alternator*.  
<https://www.alternator.science/sl/daljse/razumeti-podnebnne-spremembe/>.
- . 2021. Fizika podnebnih sprememb. Fakulteta za matematiko in fiziko. Univerza v Ljubljani.  
[https://zaplotnik.github.io/files/fizika\\_podnebnih\\_sprememb\\_online\\_v2.pdf](https://zaplotnik.github.io/files/fizika_podnebnih_sprememb_online_v2.pdf).



Zbirka *Prostor, kraj, čas* je namenjena objavi krajših tematsko zaokroženih znanstvenih raziskav s področja sodobnega merjenja prostora, ki temeljijo na geografskih informacijskih sistemih in daljinskem zaznavanju, kot tudi na družbenih in kulturnih konstrukcijah prostora in časa: kako ljudje v različnih obdobjih in pokrajinah mislimo prostor in čas, kako ju živimo, čutimo, ustvarjamo, spreminjamo in uporabljamo.

Urednika zbirke: Nataša Gregorič Bon in Žiga Kokalj, ZRC SAZU

**Marko Kovač** je rojen in živi v Ljubljani in se že od malih nog zanima za tehnologijo. Ta radovednost ga je prek strojne fakultete prignala vse do doktorata iz jedrske tehnike, kasneje pa je izkušnje nabiral tudi v avtomobilski industriji. V novejšem času se na Centru za energetske učinkovitost Instituta Jožef Stefan službeno ukvarja z možnostmi strešnih fotovoltaičnih elektrarn in tudi e-mobilnostjo, pri čemer ga ni strah zavihati rokave in kakšno stvar izboljšati ali pa dokončno pokvariti. V užitek mu je delo z mladimi in popularizacija znanosti, pri čemer je avtor številnih znanstvenih, strokovnih in poljudnih člankov, za svoje delo pa je dobil tudi nekaj nagrad s področja inovacij.



Založba ZRC

<http://zalozba.zrc-sazu.si>

ISBN 978-961-05-0575-4



25 €