

Kestliku arengu kasinad valikud

Arvi Freiberg

Helge tulevik ja jätkuv areng on läbi aegade olnud inimesi ühendav mure. Olmetasandil õhutab seda loomulik vajadus, et ka homme leib laual oleks ning alateadlik tung, et järglased oma emadest-isadest kindlasti paremini elaksid. Korduvatest sõdadest ja teistest mastaapsetest hädadest – nagu viimane pandeemia – hoolimata on see trend tsivilisatsiooni jälgitava ajaloo jooksul üsna hästi paika pidanud. Sedavõrd pikk kogemus ja progressinähtuste universaalsus jättis vaevata mulje, et nõndaviisi saab see alati olema. Nii sai tasapisi pidevast arengust majanduslik enesestmõistetavus. Fetiš, mida vähesed julgesid arvustada, eitamisest rääkimata.

Esimese tõsise mõra sellesse näiliselt vankumatusse materiaalse heaolu kasvu usu müüri löid alla 30-aastased Massachusettsi Tehnoloogiainstituudi majandusteadlased. Nende rohkem kui pool sajandit tagasi ilmunud raamat „Kasvu piirid“ (Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows jt, 1972) selgitab, kuidas viis tegurit – rahvastik, põllumajandustoodang, tööstustoodang, saastamine ja taastumatud loodusressursid – inimkonna käekäiku muudavad ja kujundavad. Teoses jõutakse järeldusele, et lõplike ressursidega maailmas peab areng varem või hiljem toppama ja et vanamoodi edasi toimetades hakkavad kõik inimühiskonna heaolu kirjeldavad näitajad varsti katastroofiliselt langema. „Varsti“ all tuleb siin mõista hoomatavat, inimese elueaga võrreldavat ajavahemikku 50 kuni 100 aastat. „Kasvu piiride“ autorid said oma arvutustes muidugi toetuda vaid varasematele majandusnäitajatele. On ülimalt tähelepanuväärne, et kuni viimase ajani täiendatud andmetega tehtud rehkendused on esialgse mudeli järeldusi üksnes kinnitanud. „Kasvu piirid“ oli eriline, kuna see kasutas esmakordselt arvutitehnoloogiat ja teaduslikku meetodit inimkonna tuleviku analüüsimiseks. Seetõttu oleks siinkirjutaja arvates igati põhjendatud selle teedrajava uurimuse seni veel elus olevate autorite esitamine Nobeli majanduspreemiale.

Miks aga ei teadvustatud seda põhimõttelist ja tagantjärele tarkusena ilmselget riski palju varem? Sellel on lisaks ülalmainitud igikestva majanduskasvu virvatulele üks üllatavalt lihtne matemaatiline selgitus. Nimelt iseloomustab piiratud ressurside tingimustes toimuvat arengut sageli sigmoidaalne funktsioon. Selle – tavakeeles ka S-kujuliseks funktsiooniks kutsutu – väärtus kasvab esialgu üsna märkamatult. Tasapisi lisanduvad annused kosuvad lähenedes teatud piirsuuruseni. Seepeale käivitub vastupidine, ressurside kahanemise või nende kättesaadavuse halvenemisega seotud faas, mis peädib arengu soikumisega. Sobivaks näiteks sellise käitumise kohta on maakera rahvastiku muutumise dünaamika. Ajaloo hämaruses oli kasv nii vaevaline, et esimene miljardi asukani jõuti alles 1805. aastal. Edasi läks juba lõbusamalt. Teine miljard korjus 120 aastaga, kolmas 35 aastaga ja nii järjest kasvavas tempos kuni kuuenda, seitsmenda ja kaheksanda miljardini, milleks igapäevase kulus vaid napp 12 aastat. Täna, kus maakeral tatsab ringi ligi 8,2 miljardit inimest, on jälgitavat sündide arvu kahanemist ar-

vestades alust ennustada edasist rahvastiku kasvutempo aeglustumist kuni selle täieliku hääbumiseni aastal 2086. Siis võiks Maal elada ligi 10,4 miljardit inimest (<https://ourworldindata.org/population-growth-over-time>). Sealt edasi on oodata vaid elanikkonna kiiret vähenemist ja seejärel rahunemist mingil uute tingimustega määratud madalamal tasemel. Seesugused arengud, kuigi mõnevõrra väiksemas mastaabis, on juba jälgitavad Hiinas, mille rahvastik kahanes möödunud aastal umbes 2 miljoni inimese võrra.

Sarnaselt rahvaarvuga on pika vinnaga ka majandusprotsessid. Pisut järele mõeldes käivitus meid tänapäeval mõjutav majandustsükkel juba ülemöödunud sajandil. Siis kui üle 150 aasta tagasi hakati, traditsioonilisele biokütusele lisaks, maakoos miljonite aastate jooksul kuhjunud fossiilseid kütuseid (kivisütt, naftat ja gaasi) ammutama. S-funktsiooni kohaselt jäi esialgu uue kütuse mõju globaalsele majandusele peaaegu märkamatuks. Aga fossiilkütused tulid selleks, et jääda. Nende panus maailma energiabilanssi üha suurenes, võrdsustades biomassi osaga kohe peale Esimest maailmasõda. Sestpeale on need energiarikkad ja suhteliselt odavad kütused maailma energiaturul aina domineerinud, kattes tänagi ligikaudu 81% globaalsest energiavajadusest. Suuresti tänu fossiilkütustele hakkasid 1950. aastatest alates eksponentsiaalselt kasvama nii inimkonna majanduslik ja tehnoloogiline võimekus, rahvastik kui ka tarbimine. See tänaseni kestav plahvatuslik areng kannab erialakirjanduses nime „suur kiirendus“ (ing „The Great Acceleration“) (Steffen, Grinevald jt, 2011).

Nüüd, ligi kolmveerand sajandit pärast suure kiirenduse tinglikku algust, avalduvad selgelt toimunud majandusbuumi varjuküljed – muutused, mis on andnud alust meie ajajärku antropotseeniks ehk inimeste ajastuks (Steffen, Grinevald jt, 2011; Syvitski jt, 2020) kutsuda. Selle termini pakkusid välja teadlased, et kirjeldada aega, mil inimtegevuse mõju, nagu kliimamuutused, bioloogilise mitmekesisuse vähenemine, maakasutuse muutmine ja keskkonna saastatus, on osutunud nii ulatuslikuks, et see on nähtav Maa geoloogilistes kihtides. Kuigi ametlikku tunnustust antropotseenil veel ei ole, jätkub selle üle vilgas arutelu teaduslikes ringkondades. Ülal öelduga haakub niinimetatud Olduvai teooria, mille järgi kaasaegne tööstusivilisatsioon on ajutine ja, et selle eluiga *per capita* ehk inimese kohta hinnatud energiatarbimise järgi on parimal juhul sadakond aastat (Duncan, 1993). Teooria on saanud nime Olduvai kuristikust Tansaania, kus leiti inimkonna varajasi jälgi, sümboliseerides nii inimarengu algust kui ka potentsiaalset tagasipöördumist algolekusse pärast tööstusivilisatsiooni kollapsit. Kuigi mitmed Olduvai teooria prognoosid ja ajakavad ei ole siiani õigeks osutunud, on see huvitav hüpotees, mis üsna dramaatilises vormis juhib tähelepanu inimkonna jätkusuutlikkuse küsimustele ning vajadusele kiiresti leida säästlikumaid lahendusi energia ja muude ressursside kasutamisel.

Mõistagi on maailmaorganisatsioonid oma võimaluste piires neile ähvardavatele hädadele reageerida üritanud. ÜRO poolt aastal 2015 ellu kutsutud säästva arengu projekt Agenda 2030 näiteks on vägagi ambitsioonikas (<https://sdgs.un.org/2030agenda>). Selle eesmärgiks on ei rohkem ega vähem kui 2030. aastaks tagada maailmas majandusareng, sotsiaalne õiglus ja keskkonnahoid nii, et tulevased põlved saaksid kasutada samu ressursse ja elada sarnases keskkonnas nagu praegune põlvkond. Kuigi see põlvkond veel kestab, on päris ilmne, et suutmatus tavapärasest majanduskasvust loobuda pärsib oluliselt enamiku teiste püstitatud sihtide saavutamist

(<https://sdgs.un.org/gsd/gsd2023>). Olen sellest põgusalt juba teises kohas kirjutanud (<https://arvamus.postimees.ee/7865437/arvi-freiberg-kus-viga-naed-laita-seal-teadus-tuleb-ja-aitab>).

Miks siis ikkagi – võib-olla liiga jõuliselt väljendudes, surm silme ees olukorras – nii kramplikult majanduskasvust kinni hoitakse Kindlasti on ühiskonda majanduskasvu oludes lihtsam tüürida, mis seletab poliitikute ja majandusliidrite ühist huvi. Üksiti tuleb arvestada vähemalt kolme permanentse sunniga.

Esiteks: rahvastiku jätkuv kasv. Jälgitavale kasvu aeglustumisele vaatamata, paisus maailma elanikkond 2023. aastal ikkagi tervelt 66 miljoni inimese võrra. See on pea Prantsusmaa jagu inimesi, kes kohe toitmist-katmist vajavad. Ülerahvastumine on kahtlemata üks peamisi tänapäeval maailma vaevavaid probleeme. Selle eest hoiatas ettenägelikult juba ümmarguselt kaks sajandit tagasi elanud inglise majandus- ja rahvastikuteadlane Thomas Malthus (1766–1833), kelle eluajal oli Maa praegusega võrreldes suhteliselt hõredalt asustatud. Juba praegu nõuab toidu kasvatamine looduslikku tasakaalu riivavat intensiivset põllumajandust ning meeletutes kogustes puhast vett. Planetaarsetest piiridest rääkides on kasulik teada, et otseselt põllumajandusega on tänapäeval hõivatud rohkem kui 38% globaalsest maismaast ning et inimesed tarbivad ühel või teisel moel tervelt kolmandiku looduse aastaringsest taimsest toodangust (Running, 2012).

Teiseks: suurenev *per capita* tarbimine, mida tavaelus pahatihti progressiga samastatakse. Arenenud tööstusriikides on vajaduspõhine tarbimine üha enam naudingupõhise liigtarbimisega asendumas. Priiskava elustiili vältimatud varjuküljed on aga kasvav süsiniku jalajärg ning suurenev sotsiaalne ebavõrdsus. Mõlemat tuleks praeguse parima teadmise kohaselt pigem vältida (Wiedmann, Lenzen jt, 2020; Millward-Hopkins, 2022).

Kolmandaks: talletatud rikkuse säilitamine ja tõstmine. Lisaks erakätes olevale varale kuuluvad sellesse hulka ühiskasutuses olevad rajatised ja taristud. Samuti ühiskondliku pealisehitise elementidega nagu riigiparaat, kohtud ja sõjavägi, seotud struktuurid.

Globaalse rikkuse hindamine on keeruline ja sõltub paljudest teguritest. Aga üks on kindel, selle pelk säilitaminegi on kulukas ettevõtmine. Rääkimata vara paisutamisest, mis nõuab järjest uusi turgutavaid investeeringuid. Asjaolud, mis on hästi tuttavad igale maja või suvila omanikule. Võttes aluseks maailma eranetovarad, mille väärtuseks 2023. aastal hinnati 432 triljonit USA dollarit (<https://www.ubs.com/global/en/wealthmanagement/insights/global-wealth-report.html>), ja tinglikku amortisatsiooninormi 1% aastas, saame rikkuse talletamiseks vajalikuks summaks 4,32 triljonit USA dollarit aastas. Moodustades umbes 4,1% sama aasta maailma sisemajanduse kogutoodangust, on see võrreldav põllumajanduse, metsanduse ja kalanduse kogupanusega sellesse. Arvestades kogutoodangu pikaajalist kasvu püsihindades umbes 3,2% aastas (https://www.imf.org/external/datamapper/NGDP_RPCH@WEO/OEMDC/ADV-EC/WEOWORLD), ei saa meie rehkendus olla liiga täpne. Sellegipoolest annab see olulise vihje, et pelgalt rahvastiku kasvu kontrolli alla saamisega ja veidi kasi-nama tarbimisega me kõnesolevaid globaalseid probleemi ei lahenda. Sest ajas kuhjunud väärt vara, mis looduseadustele alludes järjest oma headust kaotab ehk amortiseerub, on lihtsalt liiga palju saanud (Garrett, 2015). Probleemi mastaapsust aitab vast hoomata teadmine, et lähiaegadel (mõõtmisvea piires) võrdsustub massiühikutes mõõdetud inimtegevuse tagajärg ehk antropogeenne mass Maa

naturaalse biomassiga (Elhacham, Ben-Uri jt, 2020). Õõvastav vahe seisneb selles, et kui biomass, mille väärtuseks hinnatakse 1,1 teratonni (Tt; 1 Tt = 10¹² t), ajas kergelt kahaneb, siis antropogeenne mass kasvab jätkuvalt tohutu kiirusega.

Kestliku arengu võimaluste aruteludel satuvad viimasel ajal üha sagedamini jututeema keskmesse niinimetatud „heaolu ilma kasvuta“ tulevikumudelid, mida inglise keeles tähistatakse terminiga „degrowth“ (Jackson, 2009; Kallis, Kostakis jt, 2018). Eesti keeles on selle vastena kinnistumas üsna suupärane „tasaareng“. Sisult küll veidi vastuoluline mõiste viitab arusaamale, et majanduse pidev kasv ei ole jätkusuutlik ei keskkonna ega ühiskonna seisukohalt ning et materiaalse rikkuse tagaajamise asemel tuleks võtta suund parema elukvaliteedi, ühiskondliku heaolu ja looduse säilitamise poole. Väärtustama peaks keskkonnasõbralikumaid majandustavasid, tarbimise vähendamist ja ressursside ümberjaotamist. Kiiduväärsed eesmärgid kõik, kuid üksnes kasvust loobumine ei lahenda laias laastus ühtegi inimkonna ees tõusetunud eksistentsiaalset probleemi. Mõtelgem oma igapäevaste söögikordade peale. Oleme määratud seda rutiini kordama kogu elu vältel. Lihtsalt selleks, et oma füüsilist ja vaimset mina säilitada. Praegu kulutab inimkond igas sekundis ligikaudu 20 teradžauli (TJ) energiat (<https://www.voronoiapp.com/energy/Fossil-Fuels-Accounted-for-81-of-the-Worlds-Energy-Mix-in-2023-1695>), mis aina taastootmist ootab. Inimeste minimaalset energiavajadust umbes 20-kordselt ületades on see sama tupiktee, mis meid siia on toonud, kuid ei võimalda endistviisi jätkata

Loodusteadusliku teooria tasemel on arutelud tasaarengu väljavaadete üle kestnud juba vähemalt pool sajandit. Algust tegi rumeenia päritolu matemaatik Nicholas Georgescu-Roegen (1906—1994), kes esmakordselt vaatles majandustegevust osana suuremast ökoloogilisest süsteemist (Bobulescu, 2015). Tõdedes, et peale energia vajab majandus mitmeid teisi ressursse nagu puhas õhk, vesi ja mineraalsed ained, kritiseeris ta peavoolu majandusteadust planeedi füüsiliste piirangute (Running, 2012) eiramise eest. Georgescu-Roegenit pani eriti muretsema põllumajanduse ja industrialiseerimise roll tootmisbaaside kiireneval ammendumisel. Väites, et tehnoloogilised edusammud ei suuda lahendada ressursikasutuse põhiprobleemi, viitas ta sellele, et isegi „rohelised tehnoloogiad“ tarbivad piiratud varusid jätkusuutmatul määral. Lõplikke loodusressursse ei saa täielikult ringlusse võtta ega taastada, põhjustades ökoloogiliste varude pöördumatut kuhtumist. Kõik need mõtted – ehkki pea pool sajandit tagasi väljendatud – oleksid kui täna homimikusest ajalehest välja lõigatud.

Georgescu-Roegeni bioökonoomilise lähenemise juuri tasub aga veelgi varasemast minevikust otsida. Poola-ameerika päritolu matemaatik ja biofüüsik Alfred Lotka (1880–1949) oli esimene, kes hakkas bioloogilisi ja ökoloogilisi süsteeme mõtestama termodünaamika seadustest lähtudes. Tema 1922. aasta töö „Panus evolutsiooni energiakäsitluse“ (Lotka, 1922) oli murranguline artikkel, milles ta postuleeris, et evolutsiooniprotsessi juhivad organismide energiavajadused. Need toimivad kui muundurid, mis järjest energiat kasulikuks tööks – sealhulgas kasvuks ja paljunemiseks – teisendavad ning samal ajal kooskõlas termodünaamika teise seadusega jääksoojust emiteerivad. Lotkale sekundeeris vene geokeemik Vladimir Vernadski (1863–1945), kellele kuulub ka biosfääri avastamise au (Edmunds ja Bogush, 2012). Vernadski oli veendunud, et elusorganismid mängivad põhirolli päikeseenergia muutmisel keemiliseks energiaks, mis omakorda juhivad ökoloogilisi protsesse. Seepärast peavad Maa pindmine kiht ja atmosfäär olema elust sügavalt

mõjutatud ehk teadusliku slängi kasutades viibima mittetasakaalulises olekus. Seisukoht, mille vaimustavat paikapidavust atmosfääri osas kinnitas eelmise sajandi 60-ndatel aastatel inglise keemik James Lovelock (1919–2022). Laiemale üldsusele võiks see tuttav olla Gaia hüpoteesi nime all (Lovelock ja Margulis, 1974).

Georgescu-Roegeni järgi võib hoopis taandareng olla parim – kui mitte ainuke – võimalus inimkonna eksisteerimiseks lisa-aega juurde osta. Soovides vähendada ökoloogilist jalajälge, ressursikasutust ja sotsiaalseid ebavõrdsusi, peame ühiskonnana suutma tunnistada, et see võib olla saavutatav vaid majanduse olulise kokkutõmbamise ja tarbimise madalamal tasemel stabiliseerimise hinnaga. Kuna Georgescu-Roegeni tulemused seadsid kahtluse alla peavoolu majandusmudelid ja planetaarsete piiride riivid polnud toona tänase olukorraga võrreldes veel nii silmatorkavad, siis neid tema eluajal ka suures osas eirati.

Ehkki positiivsed ajaloolised näited stagneerunud ühiskondade õitsengust puuduvad, väärivad moodsa aja globaalse kasinuse võimalikud tagajärjed süsteemset uurimist (Kleidon, 2012; Garrett, 2014). Artiklis (Garrett, 2014) käsitletud mudel näiteks ennustab pikaajalise majanduskasvu puudumisel ühiskonna järjest nõrgenevat suutlikkust või isegi kollapsit seista vastu korduvatele suurtele looduskatastroofidele. Meie suhteline saamatus globaalsele pandeemiale reageerimisel peaks kõigil veel hästi meeles olema. Tasaarengu õnnestumise üheks eelduseks peetakse võrdsemat sissetulekute jaotust ja väiksemat varanduslikku kihistumist. Asjaolu, millega seletatakse paradoksaalset fakti, et kõige õnnelikumad inimesed elavad suhteliselt väikese majandusliku ebavõrdsusega, aga „aastaringselt kehva suusailmaga“ Põhjamaades. Ajakirjanduse andmetel mõnedes riikides toimunud ja esmapilgul arusaamatud raha inimestele kätte jagamised (nõndanimetatud „lennukilt raha loopimised“) ning tööpäevade lühendamised sissetulekute säilitamisega, tunduvad olevat kantud sarnasest sotsiaalsete pingete vähendamise idealist. Maailma ajalooline kogemus siiski kinnitab kõikide „igäühelt tema võimete järgi ja igäühele tema vajaduste järgi“ tüüpi ideoloogiate vältimatut põrumist. Seetõttu ei saa pahaks panna, et kasinuse lõputu õuduse asemel enamik võimalikult kaua kestvat kasvufestivali eelistab.

Lotka, Vernadski ja Georgescu-Roegeni ideed aitavad mõista, kuidas bioloogilised ja majandussüsteemid suhestuvad oma energiakeskkonnaga. Ülekaalukas kogemus tõepoolest kinnitab, et majandusel on energiaga seatud piirid (Brown, Burnside jt, 2011). Kuigi seos pole täpselt proportsionaalne, on selge, et majanduskasvu võib loota vaid üha enam energiat kulutades. Kummatigi pole küllusliku ja odava energia olemasolu tänapäeval enam arenguks piisav tingimus. Sobivad ainult elukeskkonda võimalikult säästvad energiaallikad. Nagu juba eelpool tõdetud, enamik globaalsest energiavajadusest kaetakse endiselt iidsel moel orgaanilist kütust põletades. Lisaks madalale kasutegurile eritub isegi puhtal põlemisel atmosfääri süsihappegaasi ja veeauru. Mõlemad on aktiivsed kasvuhoonegaasid. Kuivõrd tänapäevase kliima soojenemise juurpõhjuseks peetakse inimtekkelise süsihappegaasi ja teiste sarnaste pikaajaliste kasvuhoonegaaside nagu metaani ja naerugaasi akumulierumist Maa atmosfääris, siis seda me enam endale lubada ei saa (Nordell ja Gervet, 2009). Ehkki tänapäeval on kliimamuutuste küsimused saanud keskseks arutelu teemaks, ei ole fossiilkütuste ammendumise pikaajalise mõju probleemid kuhugi kadunud või kuidagi vähenenud. Nähtava tarbimise jätkudes tuleb kardetust kiiremini põhi ette ka neil. Hinnangud erinevad, kuid realistlikumad neist ei paku isegi kivisöe puhul enam ühest sajandist pikemat armuaega.

Seevastu kasvuhoonegaaside emiteerimise patust puhta päikeseenergia potentsiaali inimkonna energiavajaduse katmisel peetakse üsna üksmeelselt piirituks. Teadlase teine mina on kahtlemine. Sestap oleks hea seda asja veidi lähemalt uurida. Hinnanguliselt kiirgab kogu Maa pinnale päikeseenergiat keskmise võimsusega umbes 95 000 teravatti (TW). Maismaad (29% maakera kogupinnast, millest omakorda 20–25% moodustavad kõrbed) toidab ligikaudu 27 550 TW voog, mis rohkem kui 1000-kordselt ületab inimkonna praegust primaarse energia tarbimiskiirust (umbes 20 TW). Tundub pikaks ajaks enam kui piisavalt. Siiski tuleb arvestada, et päikeseenergia potentsiaal sõltub erinevate regioonide päikesekiirgusest, mis varieerub vastavalt laiuskraadidele, kliimale ja muudele geograafilistele tingimustele. Sahara kõrb saaks toota hiiglasliku osa maailmale vajaminevast energiast tänu suurele aastaringsele kiirguse intensiivsusele. Aga kui keskmiselt katta 1–2% maismaast (mis võiks olla võimalik), tavalise 20% kasuteguriga päikesepaneelidega, jätkuks praeguse arengutempo juures kättesaadavast päikeseenergia võimsusest (55–110 TW) parimal juhul jälle vaid käesoleva sajandi lõpuni. Päikeseenergia kasutuselevõttu takistavad veel tema varieeruvus ja pikaajalise salvestamise piirangud, kuigi need on ilmselt lahendatavad edasiste tehnoloogiliste arengutega. Kuuldavasti Jaapan (<https://teadus.postimees.ee/8007741/jaapani-kosmiline-paikeseelektrijaam-esimene-energiavoog-jouab-sealt-maale-juba-jargmisel-aastal>) ja Island (<https://tehnika.postimees.ee/8127537/island-hakkab-saama-esimese-riigina-kosmosejaamast-paikeseenergiat>) juba planeerivad kosmilisi päikeseelektrijaamu, mis kogu aeg täisvõimsusel siravat Päikest naudivad.

Päikeseenergia inimkonna energeetika tähelepanu keskmesse sättimine peaks füüsikat õppinud lugejale meenutama, et meie planeet on termodünaamilises mõttes avatud, mitte isoleeritud süsteem ja tema energiavood on paratamatult osa energia liikumisest terves universumis (Dyson, 1979). Energia kui füüsika üks põhimõisteid on aegade jooksul tublisti teisenenud. 17. sajandi Newtoni mehhaanika kirjeldas energiat kui liikuvate masside omadust tööd teha. Seda definitsiooni täpsustas 19. sajandil küpsenud termodünaamika, näidates, et tegelikkuses saab vaid osa olemasolevast energiast tööks teisendada. Igapäevakeeles öeldes, töö tegemiseks kulutada. Võime pärast ehitada, säilitada ja soovi korral ka süsteeme hävitada kutsutakse termodünaamikas seda energia osa „vabaks energiaks“. Töö tegemiseks mitte sobiv energia hajub ümbritsevasse keskkonda seda soojendades. 20. sajandi alguses (1905) samastas Einstein oma erirelatiivsusteoorias energia massiga. Seni viimast läbimurret energia rikka olemuse mõistmisel tähistab Portsmouthi ülikooli professori Melvin Vopsoni alles mõne aasta tagune uurimus (Vopson, 2019), mis seob omavahel energia, massi ja informatsiooni. Selle järgi saabub vältimatult aeg, kui lõplike ressursside poolt kammitsatud inimkond ei suuda enam rohkem infot luua ega säilitada. Olukord, mida Vopson on tähistanud jõulise nimega informatsiooniline katastroof (<https://arvamus.postimees.ee/7436056/teadlase-pilguga-arvi-freiberg-kas-teadmistel-on-piirid> fbclid=IwAR2cL4YabRcGFNhHfg1Ba3Ote1yb3m6gd3gGKBq93yxb-ecEgH7tKMakOGg, Vopson, 2020).

Viimane asjaolu muutis jäädavalt inimkonna universumi tunnetust. Ühe huvitava mullistusena tekkis arusaam, et kõiki looduse keerukaid kooslusi – galaktikaid, tähti, planeete, eluloodust ja isegi inimühiskonda – võiks ja tuleks käsitleda kui üksikuid korrastatud struktuure järjest kiirenevalt paisuvas ja seega üha ilmetu-

maks muutuvus universumis. Energia on paisuvas universumis ainuke korrastatud struktuuride tekkimist soosiv füüsikaline tegur (Prigogine, Nicolis jt, 1972). Kosmos sisaldab energiat kõige erinevates vormides, sealhulgas gravitatsioonina, valgusena, tuumaenergiana ja soojusena. Suurimat rolli eluslooduses mängib keemilistes sidemetes salvestatud energia. Selle energiavormi osatähtsus universumi energiabilansis on aga pigem marginaalne (Dyson, 1971). Struktuurid – nii elus kui elutud – on avatud mittetasakaalulised objektid, mis neelavad, töötlevad ja vabastavad (hajutavad) energiat. Nõndanimetatud „suur ajalugu“ – lugu, mis vaatleb kosmilist evolutsiooni ühtse protsessina, hõlmates aega ligi 14 miljardi aasta tagusest „suurest paugust“ kuni kaasaegse kõrgtehnoloogilise kultuurini – on sellise holistliku lähenemise loomulik tulemus (Aunger, 2007; Chaisson, 2014).

Tervikliku kosmilise evolutsiooni idee on iseenesest tore mõte. Aga kuidas ilma poeesiat appi võtmata võrrelda selliseid esimesel pilgul võrreldamatuid objekte nagu Päike ja inimene või galaktikate parve ja sipelgapesa Sobiva ühisnimetaja otsingul hakati võrdlema erinevaid struktuure läbiva energia võimsustihedust ehk massiühikut ühe sekundi jooksul läbivaid energiavoogusid (Chaisson, 2014). See vaade osutus viljakaks, avastades suuri lahknevusi struktuure läbivates energiavoo-gudes. Näiteks meie kodugalaktikat Linnuteed ja teisi sarnaseid tähekoogumeid iseloomustav võimsustihedus on umbes 10^{-5} W/kg, samas kui inimühiskonna puhul ulatub see 50 W/kg (arvestades, et 8 miljardit inimest tarbivad energiat võimsusega 20 TW). Sellesse pea seitset suurusjärku hõlmavasse vahemikku mahuvad Päike ja tema tähesugulased (0,0001 W/kg), Maa koos sarnaste planeetidega (0,001 W/kg), taimed (0,1–1 W/kg) ja imetajad, sealhulgas inimesed (1–10 W/kg) (Chaisson 2024). Inimest iseloomustav arv (2 W/kg) näiteks saadakse hüpoteetilise keskmise inimese võimsuse (130 W, arvatud ööpäevas tarbitud toidu energiakoguse järgi) jagamisel tema keha massiga (65 kg). Neid arve analüüsides leidis Eric Chaisson kuus kosmilise evolutsiooni eripärast etappi tinglike nimedega: Linnutee, Päike, Maa, taimed, loomad ja inimühiskond (Chaisson, 2014). Seevastu Robert Aunger peab kosmilise ajaloo periodiseerimisel õigemaks eristada vaid nelja ajastut: kosmoloogilist, bioloogilist, kultuurilist ja tehnoloogilist (Aunger, 2007).

Sõltumata konkreetsest lahterdusest näeme, et universumi energia võimsustihedus kasvab oleviku suunas üha kiirenevas tempos. Samuti kasvab see märgatavalt iga ajastu piires. Võrreldes 300 000 aastat tagasi elanud küttide-korilastega, on moodsa inimese käsutuses keskmiselt kümneid või isegi sadu kordi rohkem energiat. Kõige energiaaplamad on seejuures inimeste endi sepi-setud asjad – masinad, nutiseadmed, arvutid ja nendel baseeruvad rakendused nagu tehinnutt. Kui tavalist 100-hobujõulise mootoriga sõiduautot iseloomustab arv 60 W/kg, siis näiteks tehisintellekti treeningkeskusi 200 W/kg, laevu ja lennukeid käitavaid gaasiturbiine 2000 W/kg ning turboreaktiivmootoreid juba ajastu tehnilise progressi piire kompav arv 20 000 + W/kg.

Olgugi, et viimased arvud peegeldavad eelkõige hiljutist tehnoloogilist arengut, pole alust loota sellega kaasnevat inimkonna energianälja leebumist. Pigem vastupidi. Efektiveamad, paremad ja kättesaadavamad tooted üksnes annavad võimalusi rohkematele (kohaseks näiteks võiks olla globaalse turismi areng) ja tekitavad uusi vajadusi turundusnipina inimeste alateadvuslikke kirgi takka utsitades. Seda rikošetiefekti (ing rebound effect) nime all tuntuks räägitud paradoksi märkas juba 1865. aastal inglise majandusteadlane William Jevons (1835–1882) (Font Vivanco, McDowall jt, 2016).

Aga mis võiks olla selle järjest kiireneva „energiapõletamise“ sügavam sisu Lotka – Vernadski – Lovelocki uurimistööd ladusid vundamendi teadmisele, et elu Maal on termodünaamiline mittetasakaaluline seisund, mida Maad läbivad energiavood võimaldavad ja stabiliseerivad (Prigogine, Nicolis jt, 1972; Kleidon, 2010; Kleidon, 2012). Maa mittetasakaalulisus väljendub tema atmosfääri ebatavalises koostises (sisaldades näiteks ülemäära palju hapnikku ja metaani, kuid liiga vähe veeauru), samuti tema pinnavormide suurtes kõrgusevahedehes ehk topograafilistes gradientides. Igasuguste iseärasuste (täpsemalt öeldes, potentsiaali gradientide) kauane püsimine näib olevat vastuolus keskkoolist tuttava termodünaamika teise seadusega. See võrdlus pole siiski päris asjakohane, sest koolitükkides tavaliselt isoleeritud süsteemide kirjeldamisest kaugemale ei jõuta. Kosmoses paiknev Maa on aga avatud süsteem – eluslooduse mõistes organism – mis tarbib kõrge väärtusega Päikese kiirgusenergiat, samal ajal „mürgistuse vältimiseks“ madala kvaliteediga soojusenergiat väljutades. Toitva voo kuhtumisel või tema kvaliteedi kukkumisel laguneb ka „korratusest tekkinud kord“ ehk mittetasakaaluline seisund. Axel Kleidoni arvutuste järgi kulub Maa püsivas nihkeseisundis hoidmiseks igas sekundis 1750 TJ vaba energiat, mis teeb veidi alla 2% kogu Maa poolt omastatud päikeseenergiast (Kleidon, 2012). Elu aluseks oleva fotosünteesi panus sellesse voogu on umbes 215 TW. Sellest omakorda üle 30 TW kulub praegu inimkonna toitmiseks ja see arv, nagu eelnevalt selgitatud, lähitulevikus jätkuvalt kasvab. Väärrib üle kordamist, et energia tarbimise käigus energia hulk ei vähene (seda ei luba termodünaamika esimene seadus), küll aga kidub tema väärtus ehk kvaliteet. Energia kvaliteeti võib hinnata mitmel moel (Dyson, 1971). Selle kirjatüki teemast lähtudes piisab teadmisest, et kuumema keha (Päike) kiirgus on jahedama keha (Maa) kiirgusest üksjagu (umbes 20 korda) kvaliteetsem.

Hindamaks inimkonna mõju ümbritsevale looduskeskkonnale, tuleb fotosünteesi päriolu toitevoole lisada põhiliselt fossiilkütustest ammutatud vaba energia voog (20 TW). Nii saame kokku tubli 50 TW. Lootus, et see inimtegevusest vahetult mõjutatud energiavoog, mis muuseas märgatavalt ületab Maa geoloogiliste protsesside koguvõimsust (< 40 TW) (Kleidon 2012), mitte kuidagi Maa heaolu ei ohusta, on üsna lühinägelik. Sisuliselt on absoluutsest tasakaalust väljas oleva Maa puhul tegemist mittelineaarselt käituva kriitilise süsteemiga, kus isegi väikesed muutused võivad põhjustada süsteemi üleminekut raskesti ennustatavasse pöördumatusse olekusse või kriisi. Igapäevaseks teemaks tõusnud kliimasoojenemine võib olla üks projektsioon sellisest protsessist. Üha mastaapsemaks muutunud ja sagenenud looduskatastroofid teine. Ookeanide ja metsade viimasel ajal ootamatult vähenenud süsihappegaasi sidumine kolmas (<https://grist.org/international/what-happens-to-the-world-if-forests-stop-absorbing-carbon-ask-finland/>). Mittelineaarse süsteemi reaktsiooni olemuslikus määramatuses peitub ka kõikvõimalike geomudimiste (see võiks vast olla otsetõlkelise geoinseneeria suupärasem vorm) suurim oht (<https://teadus.postimees.ee/7976479/uus-oht-geoinseneeria-abil-paiksevalgusevahetu-tokestamise-tulemus-voib-olla-kohutav> cx_testId=13&cx_testVariant=cx_1&cx_artPos=6&cx_experienceId=EX0PLHUETPT1#cxrecs_s). Isegi tuleviku üliintelligentne tehisnutt ei ole suuteline kõiki nende manipulatsioonide tulemusi ette ennustama. Sarnasel põhjusel hoiatab Kleidon (Kleidon, 2012) liiga mõtlematult agara fossiilkütuste asendamise eest päikese- või tuuleenergiaga. Energia jäävuse seaduse järgi lahutub niimoodi toodetud vaba energia planeedi summaar-

sest vabast energiast, mis kahtlemata viimase tasakaaluolekut mõjutab. Muide, mittetasakaaluline ehk mitte veel tasakaalus olek seostub loomuldasa kaduva seisundiga. Mis üksiti viitab meile tuntud eluvormide põhimõttelisele ajutisusele. Füüsikateooriad kahjuks veel inimühiskonna tulevikku ette ennustada ei suuda. Termodünaamika küll seab piirid, mida saab ja mida ei saa teha, kuid jätab lahtiseks kõik tegemiste rajad. Nii et kaugemale nägemiseks peab endiselt homme sündima. Küll aga saame kindlas kõneviisis rääkida, et ilma energiata pole võimalik head teha. Vaimusilmas näen, kuidas mu prantslasest sõber selle peale mühataks: *cherchez l'énergie* (otsige energiat)

Kasutatud kirjandus

- Aunger, R. (2007). A rigorous periodization of 'big' history. *Technological Forecasting and Social Change* 74(8): 1164–1178.
- Barnosky, A. D., J. H. Brown, G. C. Daily, R. Dirzo, A. H. Ehrlich, P. R. Ehrlich, J. T. Eronen, M. Fortelius, E. A. Hadly, E. B. Leopold, H. A. Mooney, J. P. Myers, R. L. Naylor, S. Palumbi, N. C. Stenseth and M. H. Wake (2014). Introducing the Scientific Consensus on Maintaining Humanity's Life Support Systems in the 21st Century: Information for Policy Makers. *The Anthropocene Review* 1(1): 78–109.
- Bobulescu, R. (2015). From Lotka's biophysics to Georgescu-Roegen's bioeconomics. *Ecological Economics* 120: 194–202.
- Brown, J. H., W. R. Burnside, A. D. Davidson, J. P. DeLong, W. C. Dunn, M. J. Hamilton, N. Mercado-Silva, J. C. Nekola, J. G. Okie, W. H. Woodruff and W. Zuo (2011). Energetic Limits to Economic Growth. *BioScience* 61(1): 19–26.
- Chaisson, E. J. (2014). The Natural Science Underlying Big History. *The Scientific World Journal* 2014(1): 384912.
- Chaisson, E. J. (2024). Energy Budgets of Evolving Nations and Their Growing Cities. *Energies* 15: 8212.
- Duncan, R. C. (1993). The life-expectancy of industrial civilization: The decline to global equilibrium. *Population and Environment* 14(4): 325–357.
- Dyson, F. J. (1971). Energy in the universe. *Scientific American* 225(3): 50–59.
- Dyson, F. J. (1979). Time without end: Physics and biology in an open universe. *Reviews of Modern Physics* 51(3): 447–460.
- Edmunds, W. M. and A. A. Bogush (2012). Geochemistry of natural waters – The legacy of V.I. Vernadsky and his students. *Applied Geochemistry* 27(10): 1871–1886.
- Font Vivanco, D., W. McDowall, J. Freire-González, R. Kemp and E. van der Voet (2016). The foundations of the environmental rebound effect and its contribution towards a general framework. *Ecological Economics* 125: 60–69.
- Garrett, T. J. (2014). Long-run evolution of the global economy: 1. Physical basis. *Earth's Future* 2(3): 127–151.
- Garrett, T. J. (2015). Long-run evolution of the global economy – Part 2: Hindcasts of innovation and growth. *Earth Syst. Dynam.* 6(6): 673–688.
- Gowdy, J. and L. Krall (2013). The ultrasocial origin of the Anthropocene. *Ecological Economics* 95: 137–147.
- <https://arvamus.postimees.ee/7436056/teadlase-pilguga-arvi-freiberg-kas-teadmistel-on-piirid> fbclid=IwAR2cL4YabRcGFNhHfg1Ba3Ote1yb3m6gd3gGKBq93yxb-ecEgH7tKMakOGg.

<https://grist.org/international/what-happens-to-the-world-if-forests-stop-absorbing-carbon-ask-finland/>.
<https://ourworldindata.org/population-growth-over-time>.
<https://sdgs.un.org/2030agenda>.
<https://sdgs.un.org/gedr/gedr2023>.
https://teadus.postimees.ee/7976479/uus-oht-geoinseneria-abil-paiksevalgusevahetu-tokestamise-tulemus-voib-olla-kohutav_cx_testId=13&cx_testVariant=cx_1&cx_artPos=6&cx_experienceId=EX0PLHUETPT1#cxrecs_s.
<https://teadus.postimees.ee/8007741/jaapani-kosmiline-paikeselektrijaam-esimene-energiavoog-jouab-sealt-maale-juba-jargmisel-aastal>.
<https://tehnika.postimees.ee/8127537/island-hakkab-saama-esimese-riigina-kosmosejaamast-paikeseenergiat>.
<https://www.ubs.com/global/en/wealthmanagement/insights/global-wealth-report.html>.
<https://www.voronoiaapp.com/energy/Fossil-Fuels-Accounted-for-81-of-the-Worlds-Energy-Mix-in-2023-1695>.
<https://arvamus.postimees.ee/7865437/arvi-freiberg-kus-viga-naed-laita-seal-teadus-tuleb-ja-aitab>.
<https://ourworldindata.org/population-growth-over-time>.
<https://sdgs.un.org/2030agenda>.
<https://sdgs.un.org/gedr/gedr2023>.
https://www.imf.org/external/datamapper/NGDP_RPCH@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOWORLD.
 Jackson, T. (2009). *Prosperity without Growth: Economics for a Finite Planet*. Routledge.
 Kallis, G., V. Kostakis, S. Lange, B. Muraca, S. Paulson and M. Schmelzer (2018). Research On Degrowth. *Annual Review of Environment and Resources* 43(Volume 43, 2018): 291–316.
 Kleidon, A. (2010). Life, hierarchy, and the thermodynamic machinery of planet Earth. *Physics of Life Reviews* 7(4): 424–460.
 Kleidon, A. (2012). How does the Earth system generate and maintain thermodynamic disequilibrium and what does it imply for the future of the planet *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 370(1662): 1012–1040.
 Lotka, A. J. (1922). Contribution to the Energetics of Evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 8: 147–151.
 Lovelock, J. E. and L. Margulis (1974). Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis. *Tellus* 26(1–2): 2–10.
 Meadows, Donella H., Meadows, Dennis L., Randers, Jørgen and Behrens III, W. W. (1972). *The Limits to Growth*. New York, Universe Books.
 Nordell, B. and B. Gervet (2009). Global energy accumulation and net heat emission. *International Journal of Global Warming* 1(1–3): 378–391.
 Prigogine, I., G. Nicolis and A. Babloyantz (1972). Thermodynamics of evolution. *Physics Today* 25(11): 23–28.
 Running, S. W. (2012). A Measurable Planetary Boundary for the Biosphere. *Science* 337(6101): 1458–1459.
 Syvitski, J., C. N. Waters, J. Day, J. D. Milliman, C. Summerhayes, W. Steffen, J. Zalasiewicz, A. Cearreta, A. Gałuszka, I. Hajdas, M. J. Head, R. Leinfelder, J. R. McNeill, C. Poirier, N. L. Rose, W. Shotyk, M. Wagemann and M. Williams (2020).

Extraordinary human energy consumption and resultant geological impacts beginning around 1950 CE initiated the proposed Anthropocene Epoch. *Communications Earth & Environment* 1(1): 32.

Steffen, W., J. Grinevald, P. Crutzen and M. John (2011). The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Phil. Trans. R. Soc. A* 369: 842–867.

Wiedmann, T., M. Lenzen, L. T. Keyßer and J. K. Steinberger (2020). Scientists' warning on affluence. *Nature Communications* 11(1): 3107.