

MJERNA I REGULACIJSKA TEHNIKA

Uređuje: Nenad Bolf



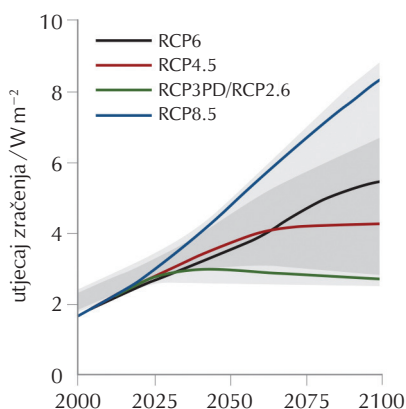
Regulacija globalnog zagrijavanja*

Pripremio: N. Bolf

Fizikalna načela i teorijski modeli uz primjenu načela vođenja procesa uz neke pretpostavke dovode nas do zaključka kako regulirati proces globalnog zagrijavanja. Za razumijevanje potrebna su znanja o statičkom i dinamičkom vladanju tog procesa.

Usporedimo li globalno zagrijavanje s industrijskim procesima, razlikuju se u upravljanoj (manipuliranoj) varijabli i radnoj točki (zadanoj vrijednosti). Tako npr. u postrojenju zadajemo temperaturu i reguliramo je promjenom protoka pare, dok u slučaju globalnog zagrijavanja čovječanstvo "upravlja" svojim emisijom (ponašanjem).

Međuvladin panel za klimatske promjene Ujedinjenih naroda (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) zadao je neke vrijednosti u jedinicama utjecaja zračenja (engl. *radiative forcing – RF*), čime se izražava energetska neravnoteža planeta u jedinicama [W m^{-2}], koje uzrokuje zagrijavanje (slika 1). "Zadanu vrijednost" postavili su kao ciljanu vrijednost, preporučujući da razlika između unosa solarne topline i bijega topline natrag u svemir treba biti ograničena na onu koja neće izazvati temperaturni pik veći od $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Slika 1 – Projekcije Međuvladinog panela za klimatske promjene (IPCC) utjecaja zračenja za četiri reprezentativna scenarija (*representative concentration pathways – RCP*) od RCP 2,6 (s vrhuncem emisije 2020., što rezultira maksimalnom koncentracijom od 440 ppmv u 2080.) do RCP 8,5 (s vrhuncem emisije 2100., što rezultira maksimalnom koncentracijom od 950 ppmv u 2100. i daljnjim porastom)¹

"Smatram da su takvi neobvezujući ciljevi, ugovori i sporazumi beskorisni. Umjesto toga, treba se usredotočiti na to kako kvantificirati proces globalnog zagrijavanja a nakon toga preporučiti

algoritam vođenja i upravljanu varijablu da bismo globalno zagrijavanje doveli pod kontrolu." tvrdi Béla Lipták, ugledni svjetski stručnjak za automatiku.

Vremenska konstanta

Krivulje porasta temperature pokazuju da je vremenska konstanta tog procesa oko 20 godina. Drugim riječima, ako se dogodi promjena toplinske ravnoteže našeg planeta, trebat će oko 20 godina da dosegne 63 % svojeg punog učinka. Zna se i da je globalno zagrijavanje nelinearni toplinski proces koji ima ogroman kapacitet i inerciju, plus neke nepredvidljive točke prekretnice i da je u potpunosti izvan kontrole.

Prekretnice

Kod vođenja procesa bavimo se kontinuiranim, šaržnim, ali i procesima koji mijenjaju svoje karakteristike kad se dosegnu određene prijelazne točke (engl. *tipping points*). Globalno zagrijavanje spada u takve procese. U slučaju tog toplinskog procesa, prekretnica se javlja kada se toplinska bilanca iznenada promijeni. Ako se proces globalnog zagrijavanja ostavi "nekontroliranim", dosegnut će se najmanje dvije točke prekretnice. Jedna je povezana s "efektom albedu", a druga s otapanjem leda na polovima i u ledenjacima.

Statička osjetljivost procesa

Statička osjetljivost tog procesa (engl. *process gain*) omjer je ukupne promjene globalne temperature i promjene koncentracije CO_2 koja ga je uzrokovala. Tijekom posljednjih 60 godina izmjereno je da porast koncentracije CO_2 u atmosferi od približno 60 ppmv (s 350 na 410 ppmv) uzrokuje porast globalne temperature za $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dakle, statička osjetljivost (brzina porasta) prosječno je iznosila oko $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ za svakih 100 ppmv porasta koncentracije CO_2 . S obzirom na brzinu, statička osjetljivost bila je oko $0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ po desetljeću. No na temelju novijih izvještaja statička osjetljivost porasla je na $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ po desetljeću i još uvijek raste.

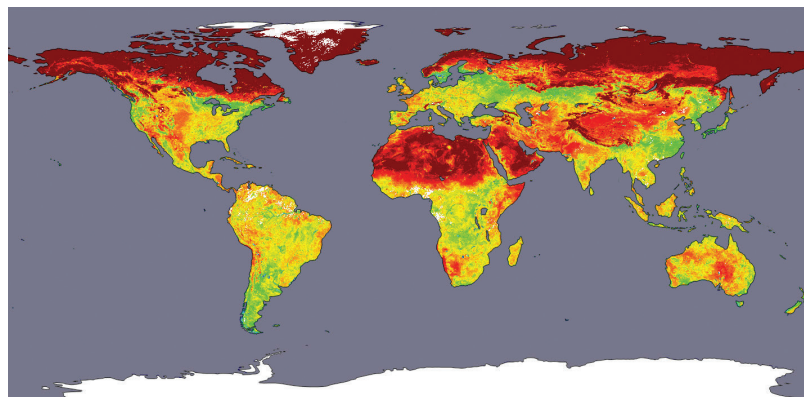
Akumulacija odstupanja (integralno djelovanje)

Tijekom industrijskog doba u zraku je akumulirano oko 400 Gt dodatnog ugljika a količina još uvijek raste zbog sadašnjih emisija. Godišnja emisija ugljika danas iznosi 9 – 10 Gt (milijardi tona) i još uvijek raste. Drugim riječima, dnevna emisija ugljika po glavi stanovnika je 3,6 kg ($10,4\text{ kg CO}_2$). To također znači da, čak i ako ostvarimo životni stil "bez ugljika" i smanjimo emisiju ugljika na nulu, akumulirani ugljik koji ostaje u atmosferi nastaviti će povećavati globalnu temperaturu još dugi niz desetljeća, ali manjom brzinom.

Prijelomna točka albedu

Albedo predstavlja udio upadne solarne energije koji se reflektira od površine natrag u svemir. Tipični albedo oceana iznosi otprilike 0,06 (ili 6 %), dok se albedo morskog leda mijenja od 0,5 do 0,7.³ Efekt albedu je proces koji se zbiva kada se visokoreflektivni polarni i ledenjački led topi i zamjenjuje vodom ili permafrostom koji apsorbira zračenje. Kada se to dogodi, ulaz topline prema

* B. Lipták, Global warming as a control loop, https://www.controlglobal.com/articles/2019/global-warming-as-a-control-loop/?utm_source=hs_email&utm_medium=email&utm_content=77913316&_hsenc=p2ANqtz-9p4OWMWDew14DSZDc67C9m5vlADpeh7JQbACfXfhAKCWbBTR5La8xMHheh6RvkzX4WNIpDhfGlaHuAg9tbeZgsDfE_Sg&_hsmi=77913316 (30. 9. 2019.).



Slika 2 – NASA Earth Observatory pokazuje područja koja trenutno reflektiraju (smeđa područja u blizini Arktika)²

našem planetu raste (raste utjecaj zračenja) a taj se ciklus ubrzava jer porast utjecaja zračenja povećava temperaturu, što dodatno povećava topljenje i dalje rezultira još većim oslobađanjem ugljika. “Koliko je meni poznato, učinak tog samointenzivirajućeg procesa ne uzima se u obzir u UN-ovim RCP scenarijima. Ako je to istina, radi se o velikom propustu.”, kaže Béla Lipták. Čini se da taj efekt već djeluje: Arktik se zagrijava mnogo brže od ostatka planeta (u odnosu na globalni prosjek od 0,9 °C, ovog ljeta bio je preko 10 °C). Efekt albeda nastavit će se sve dok na planetu ima leda i zbog toga ga projekcijski modeli za globalno zagrijavanje moraju uzeti u obzir (slika 2).

Topljenje permafrosta (pozitivna povratna veza)

Dok se led na kopnu koji reflektira sunčevo zračenje topi, pored efekta albeda, permafrost koji apsorbira zračenje zamjenjuje led koji, pak, topljenjem oslobađa ogromne količine CO₂. To dodatno povećava učinak staklenika i, na taj način, dodatno ubrzava topljenje. Taj se ciklus ubrzava, a budući da je u permafrostu pohranjeno dvostruko više ugljika od ukupnog ugljika u atmosferi, to može imati velik utjecaj na globalno zagrijavanje. U praksi vođenja procesa takvi se samointenzivirajući procesi uvijek modeliraju s minimalno pet mrtvih vremena (u ovom slučaju to je stotinu godina). Dakle, svi se naši modeli globalnog zagrijavanja moraju zasnivati na projekciji barem do kraja ovog stoljeća. Slično efektu albeda, efekt permafrosta također “okida” točku prekretnice, već

je započeo i trajat će mnogo desetljeća a svi modeli trebali bi ga uključiti, također i UN-ove RPC (slika 3).

Raspodjela temperature i otapanje leda

Razgovarati o globalnom zatopljenju u smislu porasta prosječne globalne temperature nije baš smisleno jer su lokalne temperature one koje određuju lokalno stanje. Danas je globalni porast temperature na kopnu oko 2,0 °C, a na oceanima oko 0,5 °C, dok je na Arktiku 10 °C ili ljeti čak više, dijelom uzrokovan djelovanjem albeda i permafrosta. Te temperature uzrok su šumskim požarima, nestajući vode i gubitcima u poljoprivredi u već sada suhim predjelima, također i prekomjerne kiše i uragana u već vlažnim predjelima.

Primjer lokalnih učinaka zagrijavanja je topljenje na Grenlandu, gdje se hladni led topi i ulijeva u Atlantik i tako ga lokalno hladi. Uz to, otapanje uzrokuje porast razine mora. Zasad je taj porast neznatan, ali to bi se moglo promijeniti ako se temperatura na Arktiku dodatno poveća. Ukoliko bi se sav led na Grenlandu otopio (2,5 milijuna km³), razina oceana mogla bi porasti za nekih 7,2 m.^{5,6}

Također se zna da leda na Antarktiku ima 10 puta više od onog na Grenlandu. Nadajmo se da nećemo doći do točke kada bi se počeo topiti, jer se radi o klima-uređaju našeg planeta.

Tijekom posljednja dva desetljeća održano je niz međunarodnih sastanaka, ali sve što je rezultiralo su neke želje i očekivanja vezana uz dopušteni porast temperature. Dakle, kad ekspert za regulaciju promotri taj nekontrolirani proces, zadatak mu je jasan: treba zatvoriti regulacijski krug procesa globalnog zagrijavanja, pronaći varijablu s kojom je moguće upravljati i pritvoriti je! A koja varijabla može promijeniti ljudsko ponašanje? Obično je to novac. Dakle, bilo kroz oporezivanje, subvencije ili obrazovanje, moramo zatvoriti taj regulacijski krug.



Slika 3 – Permafrost pokriva 25 % kopnene površine sjeverne polutke i sadrži oko 1500 milijardi tona ugljika (izvor: National Snow and Ice Data Center)⁴

Literatura

1. URL: <https://wattsupwiththat.com/2016/06/30/rcp-8-5-to-exterminate-antarcticas-penguins-by-2100/> (4. 11. 2019.).
2. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/> (4. 11. 2019.).
3. URL: <https://nsidc.org/cryosphere/seaice/proces/albedo.html> (4. 11. 2019.).
4. URL: <https://www.vox.com/2017/9/6/16062174-permafrost-melting> (4. 11. 2019.).
5. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Greenland_ice_sheet (4. 11. 2019.).
6. URL: www.worldwildlife.org/pages/why-are-glaciers-and-sea-ice-melting (4. 11. 2019.).