

ENERGETIKA DOGAJANJ V OZRAČJU¹

I. DEL: IZMERJENE IN MODELSKE VREDNOSTI

JOŽE RAKOVEC

Fakulteta za matematiko in fiziko
Univerza v Ljubljani

PACS: 92.60.Vb, 92.60.Bh

V uvodu za to, da dobimo predstavo o velikosti energetskih pretvorb v ozračju, najprej primerjamo energijo, ki se sprosti v zmerni plohi, z energijo, proizvedeno v jedrski elektrarni. Potem v prvem delu s pomočjo izmerjenih vrednosti in vrednosti, ki jih nudijo simulacije z meteorološkimi modeli, prikažemo glavne pretvorbe sončne energije v t. i. zaznavno toploto in v t. i. latentno toploto ob izhlapevanju tekoče vode v vodno paro ter prenose teh vrst energije po zemeljski obli – ter ob kondenzaciji ponovno sproščanje latentne toplote.

ENERGETICS OF ATMOSPHERIC PROCESSES PART I.: THE MEASURED AND THE MODELLED VALUES

In Introduction the energy, released in a moderate shower is compared with the amount of energy, produced in a nuclear power plant – to illustrate how big are the amounts of energy transforms in the atmosphere. In Part I the main energy exchanges from solar into the sensible heat and the latent heat of evaporation, the advection of these across the globe, as well as the release of the latent heat by condensation are presented on the basis of the measured data and the values obtained by meteorological models.

1. Uvod

Vreme doživljamo vsak dan, a le občasno, npr. ob hudih viharjih ali ob udarih strel, zaslutimo mogočnost energijskih pretvorb, ki ga poganjajo. To pa ne pomeni, da npr. tudi običajno vreme ali pa rahel dež nista povezana z velikimi količinami energije. Poskusimo za uvod to preveriti s kratko oceno, ki nam bo dala občutek, za kolikšne energije gre!

Naj na območje, veliko $10\text{ km} \times 10\text{ km}$, pade 10 mm dežja. Take padavine pri nas, kjer imamo v dolgodobnem povprečju v severozahodni Sloveniji v Julijcih več kot 3000 mm padavin na leto, v najbolj suhem severovzhodnem delu pa še vedno okrog 800 mm na leto, niso nič posebnega – toliko dežja pade npr. ob kratki plohi. Kakšne pa so energetske pretvorbe pri kondenzaciji vodne pare v oblakih? Za izhlapevanje enega litra (kilograma) vode je pri temperaturah okrog $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ potrebno $q_i = 2,5\text{ MJ}$ toplote. Velika

¹Predavanje 20. marca 2007 na Institutu Jožef Stefan v okviru Stefanovih dni

večina se porabi za povečanje notranje energije vodne pare v primerjavi z notranjo energijo tekoče vode, saj gre v delo le kakih 5 % za izhlapevanje porabljene toplote – zato bomo kar približno izenačili specifično toploto za izhlapevanje q_i s specifično *latentno*² notranjo energijo $w_{n,l}$. Izhlapevanje iz tal, morij, oceanov, se dogaja vsak dan. Vodna para se od tam dviga tudi v višje plasti ozračja in zračni tokovi jo prenašajo tudi tisoče kilometrov daleč. Toplota, ki se je porabila za izhlapevanje, je v zraku nekako prikrita, torej *latentna*, kajti voda je v obliki pare, kar v primerjavi s tekočo vodo pomeni več latentne notranje energije $W_{nl} \approx m_v q_i$ (tu je m_v masa vodne pare). Ko pa se zrak in para v njem ob nastanku oblakov toliko ohladita, da pride do kondenzacije, se ta prikrita energija spet pojavi – kot *deus ex machina* v obliki *zaznavne toplote*. Ob vsakem kondenziranem litru (kilogramu) vode se torej sprosti $q_i = 2,5$ MJ toplote. Ko ob naši kratki plohi pade 10 mm padavin – to je 10 litrov (kilogramov) vode na vsak kvadratni meter, je skupna masa kondenzirane vode $m = 10^9$ kg (površina je $10 \text{ km} \times 10 \text{ km} = 10^8 \text{ m}^2$). Ko to pomnožimo z $2,5 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$, dobimo skupno sproščeno kondenzacijsko energijo $m q_i = 2,5 \cdot 10^{15} \text{ J}$. Predstave o tem, koliko je $2,5 \cdot 10^{15} \text{ J}$ v vsakdanjem življenju, nimamo. Zato naredimo kako primerjavo! Jedrska elektrarna Krško je leta 2006 v tistih mesecih, ko je najmočnejše obratovala, na dan oddala v omrežje okrog 16,6 GWh električne energije [1]; pol od tega dobi Hrvaška in pol Slovenija: Slovenija torej okrog 8,3 GWh na dan. Pretvorimo še sproščeno energijo iz kondenzacije ob naši plohi v kilovature: $2,5 \cdot 10^{15} \text{ J} = 694 \text{ GWh}$. Skoraj tri mesece mora delati NEK, da v slovensko omrežje pošlje toliko energije, kot se je sprosti v polurni plohi! Očitno so energijske pretvorbe v vremenskih dogajanjih nepredstavljivo velike!

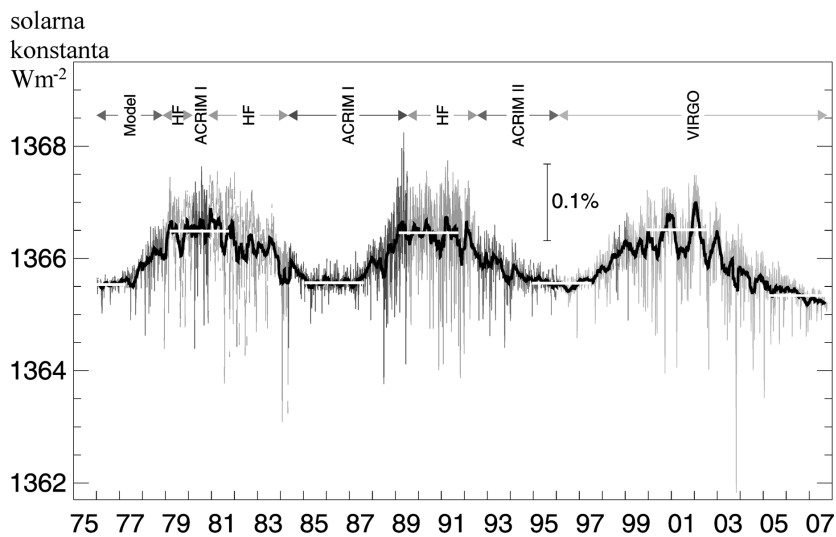
V prvem delu tega prispevka si bomo ogledali, kaj nam o energetiki vremena povedo izmerjene in z meteorološkimi modeli simulirane vrednosti: katere so glavne pretvorbe sončne energije v t. i. zaznavno toploto in v t. i. latentno toploto ob izhlapevanju tekoče vode v vodno paro ter prenosih teh vrst energije po zemeljski obli – ter ob kondenzaciji ponovno sproščanje latentne toplote. V drugem delu pa bomo s pomočjo enačb razložili pretvorbe sončne energije, ki je energetski vir za praktično vsa dogajanja na Zemlji, v druge oblike energije v ozračju: iz diferencialnega dovoda in odvoda toplote s sončnim obsevom in infrardečim zemeljskim sevanjem in

²V tujejezični literaturi, pri nas pa predvsem v meteorološki srenji, se za toploto faznih sprememb uporabljata izraza *latent heat* oziroma *latentna toplota*, za zaznavno notranjo energijo pa *sensible heat* oziroma *zaznavna toplota*.

izsevom v vesolje prek razpoložljive skupne potencialne energije v kinetično energijo atmosferskih (in oceanskih) gibanj in iz te prek viskoznega trenja v notranjo energijo.

2. Vir energije za dogajanja na Zemlji

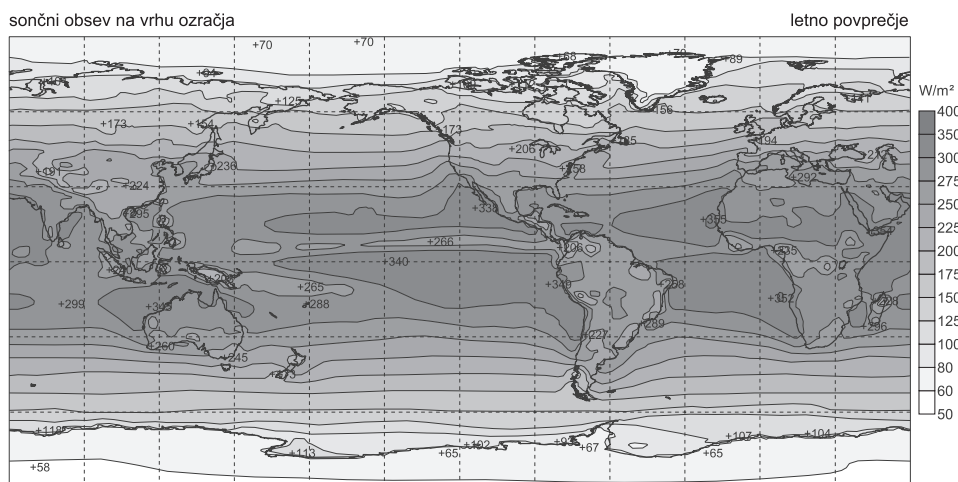
Praktično vsa energija, ki uravnava dogajanja na Zemlji, prihaja od Sonca. Sonce sveti približno kot črno telo s temperaturo okoli 6000 K in zato je gostota moči izsevanega energijskega toka na njegovi površini ogromna – po Stefan-Boltzmanovem zakonu jo ocenimo na $j' = \sigma T^4 = 75 \text{ MWm}^{-2}$. Ker se zmanjšuje sorazmerno s kvadratom oddaljenosti od Sonca, je pri Zemlji že zelo „razredčena“: obsevanost pri povprečni oddaljenosti Zemlje od Sonca je $E_0 = 1367 \text{ Wm}^{-2}$. Tej vrednosti pravimo *solarna konstanta* – čeprav v resnici ni povsem konstantna, kajti Sonce včasih sveti močnejše, včasih pa šibkeje. Zato se E_0 dolgodobno spreminja za okrog $\pm 0,1 \%$, kratkodobno pa tudi za več odstotkov (slika 1).



Slika 1. Solarna konstanta, to je osončenost – obsevanost s sončnim sevanjem – pri vrhu ozračja od leta 1975 do leta 2007 po modelu in po meritvah z različnimi senzorji na različnih satelitih – HF na satelitu NIMBUS-7, ACRIM I na SMM, ACRIM II na UARS in VIRGO na SOHO (Frölich, PMOD WRC [2])

Ker se Zemlja vrti, je zdaj osončen en del njene površine, kasneje pa drug. Tako se moč, ki jo Zemlja prestreza s svojim presekom πr_Z^2 , (ne pov-

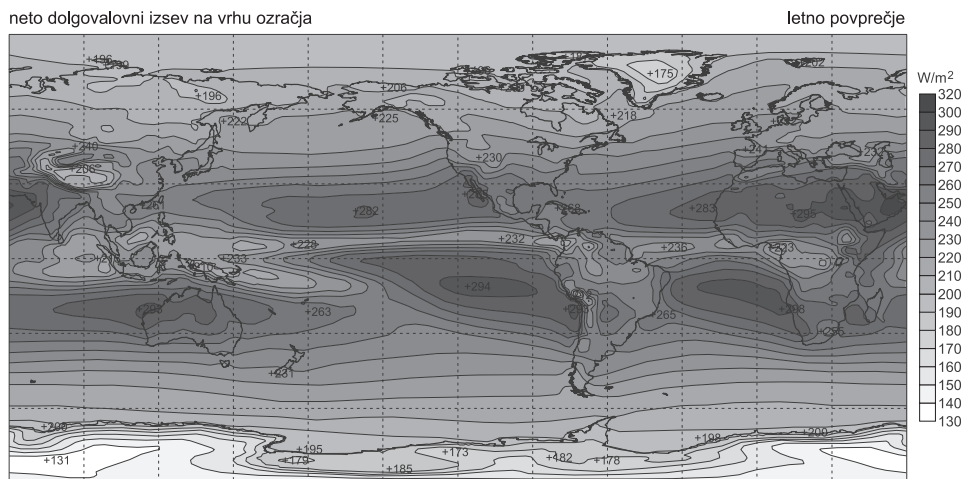
sem enakomerno) razporeja po vsej njeni površini, ki pa je štirikrat večja – $4\pi r_Z^2$. Odtod povprečna gostota moči sončne obsevanosti za vso Zemljo: 342 Wm^{-2} . Vsa sončna energija pa se ne absorbira, kajti Zemlja je iz vesolja videti prijazen planet – v odbiti svetlobi se vidijo modra morja, zelena vegetacija, rumeno-rjave puščave, beli oblaki, obe beli polarni kapi in beli vrhovi najvišjih gorstev. Odbojnost ali *albedo* a za vse valovne dolžine sončne svetlobe skupaj je okrog 0,31 – torej se na Zemlji absorbira okrog 69 % vpadle sončne energije ali 236 Wm^{-2} . Seveda ne v vseh krajih enako – največ v tropskih predelih in več v temnejših morjih kot v svetlejšem kopnem: dolgoletno povprečje porazdelitve absorbirane sončne moči prikazuje slika 2.



Slika 2. Dolgoletno povprečje gostote moči absorbiranega dela sončnega obseva je na Zemlji 236 Wm^{-2} , krajevno pa zelo različno: med 60 Wm^{-2} v južnih polarnih predelih in 340 Wm^{-2} v tropskih morjih (po re-analizah ECMWF [4]).

Zaradi primerjave omenimo še druge energetske vire, ki niso neposredno povezani s sevanjem Sonca. Moč plimovanja, ki ima tudi zunajzemeljski izvor (prek gravitacijskih sil), je v primerjavi z osončenostjo zanemarljiva – v povprečju prek vse zemeljske površine samo okrog $0,01 \text{ Wm}^{-2}$. Tudi dotok geotermalne energije iz zemeljske sredice na njeno površje, ki je v nekaterih krajih lokalno zelo pomemben, npr. na Islandiji, je v povprečju za vso Zemljo zanemarljiv – povprečno znaša samo $0,06 \text{ Wm}^{-2}$. Torej je Sonce energetsko praktično edini vir, ki poganja procese nežive in žive narave na Zemlji. Ta vir je tudi dosti večji od „produkcije energije“, ki jo človeštvo na vsej Zemlji proizvaja z močjo okrog $13 \cdot 10^{12} \text{ W}$ (USGS, [3]), kar preračunano na enoto

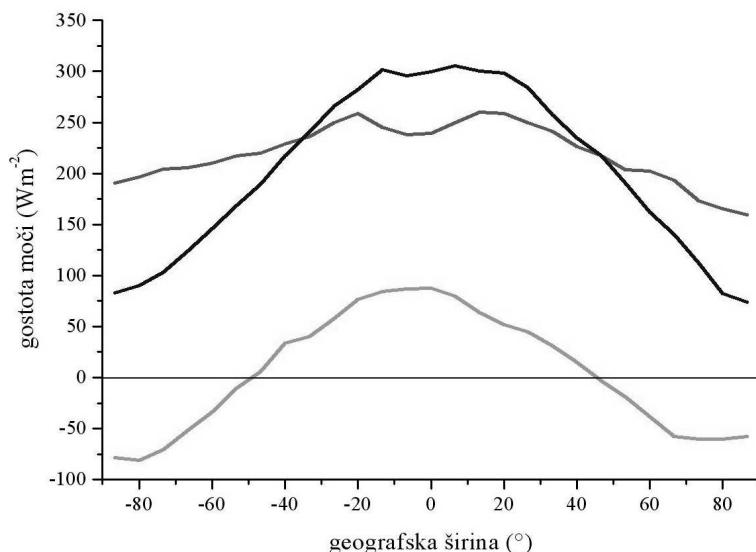
površine Zemlje v povprečju pomeni okrog $0,1 \text{ Wm}^{-2}$ – torej več kot 2000-krat manj, kot je absorbirana gostota sončne moči. Velika večina izvira iz fosilnih goriv – skoraj 86 %, hidroenergije je za 7 %, iz drugih „obnovljivih“ virov je pridobimo manj kot 1 % – in v vseh teh oblikah je pravzaprav „uskaladiščena“ sončna energija. Le proizvodnja v jedrskih elektrarnah (6,5 % vse energije na svetu in okrog 11 % svetovne proizvodnje električne energije [3]) je, tako kot geotermalna in energija plimovanja, nesončna energija.



Slika 3. Kot slika 2, toda za povprečno gostoto moči, izsevane iz Zemlje v vesolje v infrardečem območju (po re-analizah ECMWF [4]).

Zemlja pa seveda tudi sama seva. Glede na temperaturo na Zemlji, ki je okrog 220 K v višjih plasteh ozračja in več kot 300 K ob toplih tleh, je to sevanje v infrardečem območju; največ ga je pri valovnih dolžinah okrog $10 \mu\text{m}$. Sevajo torej tla in oblaki (oboje približno kot črno telo), sevajo tudi plini ozračja (ti imajo povprečno emisivnost v infrardečem območju okrog 0,7, kar je vzrok za t. i. toplo gredo). Povprečno gostoto izsevane moči prikazuje slika 3. Razlika med absorbiranim sončnim obsevom in infrardečim izsevom pomeni energijsko bilanco Zemlje nasproti njenemu vesoljskemu okolju: seveda v povprečju prek vseh krajev na Zemlji in prek daljših časovnih obdobjih Zemlja toliko energije prejme, kot jo sama izseva v vesolje – če ne bi bilo tako, bi se ali segrevala ali pa hladila.

Iz podatkov o geografski razporeditvi letne absorbirane sončne in izsevane infrardeče moči zemeljskega sevanja lahko določimo tudi njihova pov-



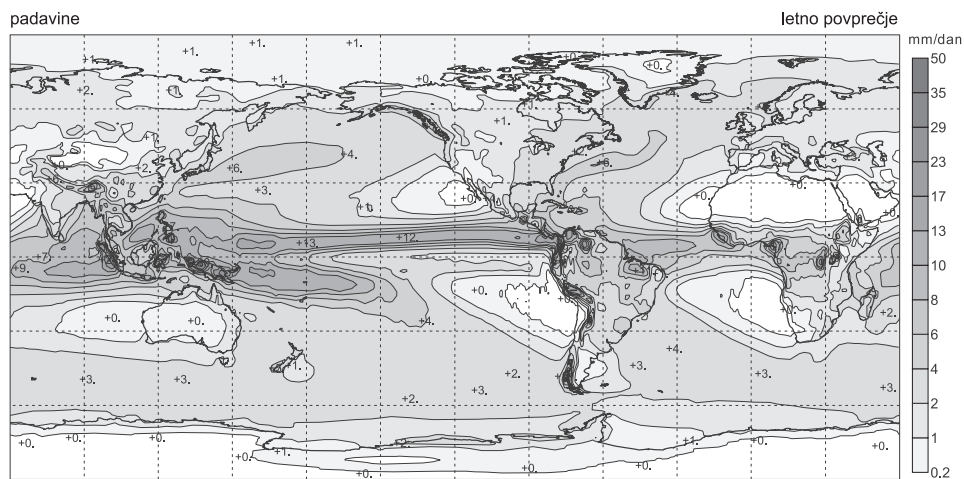
Slika 4. Zonalno povprečni gostoti moči absorbiranega sončnega sevanja (temna črta) in izsevanega infrardečega terestričnega sevanja (svetlejša črta) ter razlika med njima (najsvetlejša črta, spodaj): tropska in subtropska območja med zemljepisnima širinama približno 38° S in 33° N imajo presežek sevalne energije, tista južno in severno od tega pasu, pa primanjkljaj (iz meritev s satelitov ERBE in CERES [5], po Stepaniaku [6] in Wallaceu in Medini [7]).

prečja po zonalnih pasovih okrog Zemlje. Iz teh vidimo (slika 4), da ima Zemlja neto dovod energije v toplih tropskih predelih, odvod pa v hladnih polarnih predelih. Zemlja torej deluje nekako kot toplotni stroj, ki te dovode in odvode toplote pri različnih temperaturah pretvarja v kinetično energijo zračnih in morskih tokov. Kako? Ali morda kar iz toplotnega toka neposredno prek mehničnega dela v kinetično energijo (pretežno) horizontalnih gibanj zračnih in morskih mas? Ne, stvar je malo bolj zavita in zahteva še nekaj dodatne razlage.

3. Kaj iz podatkov in modelov izvemo o prenosih energije sem in tja po Zemlji?

Za to, da se tropi in subtropi zaradi sevalnega energetskega presežka kar naprej ne grejejo, polarni predeli pa zaradi primanjkljaja ne hladijo, je za izenačevanje sevalnih razlik očitno treba ogromno toplote prenesti iz tropskih predelov v zmerne in visoke geografske širine. Za to poskrbijo

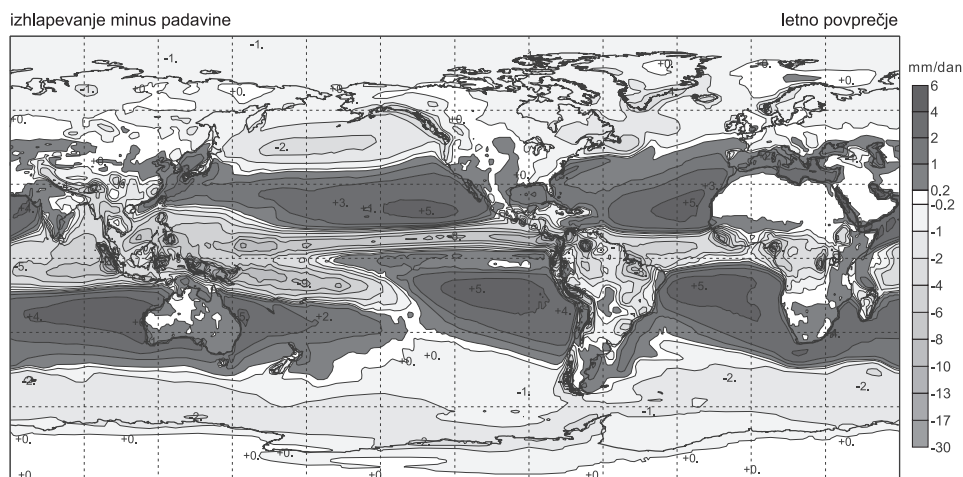
prenosi energije z zračnimi in morskimi tokovi. Topli deli teh tokov prenašajo sem in tja po Zemlji „zaznavno toploto“ – zaznavno notranjo energijo $W_{nz} = mc_V T$. Povratni hladni tokovi izvirajo pretežno iz višjih geografskih širin (in v vsakdanjem jeziku bi rekli, da „prenašajo mraz“). Poleg tega pa zračni tokovi nosijo s seboj tudi vodno paro in s tem „skrito“, „latentno toploto“ v obliki latentne notranje energije $W_{nl} \approx m_v q_i$. Glede na oceno iz uvoda, da je te toplote lahko zelo veliko, je vredno pogledati, kolikšen delež sevalnih neravnotežij izravnavajo transporti latentne toplote z zračnimi tokovi.



Slika 5. Povprečna razporeditev padavin (v mm/dan, po re-analizah ECMWF [4])

Oceno transporta latentne toplote po Zemlji sem in tja lahko dobimo iz geografske razporeditve količine izhlapele vode in padavin in s tem povezanih energijskih sprememb. Na splošno je padavin (slika 5) precej v tropskem pasu, kjer zaradi vsakodnevne konvekcije nastajajo ob plohah in nevihtah. V subtropih pa se zrak v glavnem spušča z višin proti tlom, se ob tem adiabatno stiska in torej segreva – padavin zato tam skorajda ni; na kopnem so v tem območju marsikje puščave, npr. v Sahari, v Arabiji, v Tibetu in v Kaliforniji. V višjih geografskih širinah je padavin spet več – predvsem ob frontah v ciklonih. Zagotavlja jih ohlajanje zraka ob frontalnem adiabatnem dviganju, s tem razpenjanju in torej ohlajanju zraka. Izhlapevanje je po geografski širini bolj enakomerno razporejeno: za izhlapevanje je treba veliko energije, zato je najmočnejše v tropih, od tam pa količina precej enakomerno upada proti višjim geografskim širinam. Je pa izhlapevanje seveda odvisno

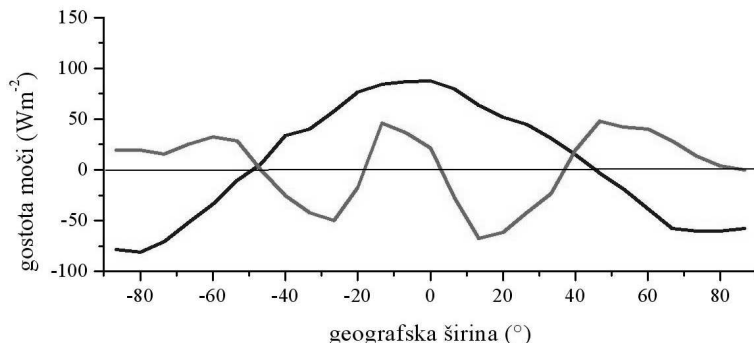
tudi od podlage – nad oceani je npr. na splošno večje kot nad kopnim. Iz primerjave med izhlapevanjem in padavinami (slika 6) je očitno, da je za presežek padavin nad izhlapevanjem v tropskem pasu ali pa npr. v severni Evropi in Kanadi potreben dotok vodne pare z zračnimi tokovi od drugod – z območij, kjer izhlapevanje presega padavine.



Slika 6. Povprečna razporeditev razlike med izhlapevanjem in padavinami (v mm/dan, po re-analizah ECMWF [4])

Velika neravnotežja zahtevajo izenačevanje tako sevalnih energijskih razlik kot tudi masnih razlik med izhlapevanjem in padavinami, in tako je treba veliko energije in vlage prenesti iz tropskih predelov v zmerne in visoke geografske širine. Kako ocenimo velikosti teh tokov energije ter divergenco v teh tokovih? Vsaj za prenose latentne toplote spet kar iz bilance med izhlapevanjem in padavinami. Ker se pri izhlapevanju toplota porablja, pri padavinah pa ob kondenzaciji sprošča, lahko pomnožimo masno bilanco izhlapele oz. padavinske vode z izhlapilno oz. kondenzacijsko toploto in tako dobimo ustrezno bilanco v energijskih enotah. Skupaj z neto sevalno bilanco jo povprečeno po zonalnih pasovih prikazuje slika 7.

Vidimo, da sevalni presežek npr. v območju severnih subtropov pri okrog 20° sev. g. š. znaša okrog 50 Wm^{-2} in da moč, porabljena za izhlapevanje, tam presega kondenzacijsko moč padavin za okrog 60 Wm^{-2} . Torej v tem predelu procesi izhlapevanja in kondenzacije bistveno prispevajo k izravnavanju sevalnega neravnovesja. Če pa pogledamo razmere npr. pri 65° sev. g. š., pa vidimo, da je tam sevalni primanjkljaj okrog 60 Wm^{-2} , da pa tam prese-



Slika 7. Zonalno povprečje gostote moči sevalnega presežka oz. primanjkljaja (črna črta) in gostote neto sproščene moči ob pretvorbah para-voda (siva črta), oboje v Wm^{-2} (po Stepianiaku [6], iz re-analiz NCEP/NCAR [8])

žek kondenzacijske moči nad močjo za izhlapevanje dosega okrog 40 Wm^{-2} . Torej tam razlika med kondenzacijo in izhlapevanjem nadomesti več kot polovico sevalnega primanjkljaja. Na ta način lahko ocenimo delež prenosov latentne toplote pri izravnavanju sevalnih neravnovesij za vsak predel na Zemlji.

Pretoke zaznavne toplote – to je zaznavne notranje energije ter divergence teh pretokov pa ocenimo iz polj hitrosti in temperature. Za advektivne pretoke energije v ozračju poskrbi veter, v oceanih pa morski tokovi. Tok zaznavne notranje energije $\rho \vec{v} w_{nz}$ in divergence v njem lahko določimo, če poznamo 3-D polje gibanja in 3-D polji gostote in temperature. Pri tem je seveda treba upoštevati tudi to, da oceani niso horizontalno neomejeni, tako kot je ozračje: tam, kjer je kopno, morski tok pač ni mogoč. Za ozračje je 3-D podatkov o vetru, gostoti in temperaturi kar precej, saj jih že desetletja vsak dan merimo zaradi potreb napovedovanja vremena, za oceane pa je teh podatkov za sedaj še precej manj.³ Prenose energije z morskimi tokovi pa vseeno lahko približno posredno ocenimo kot preostanek po upoštevanju prenosov latentne in zaznavne notranje energije z zračnimi tokovi. Nekako na grobo bi rekli, da globalno morski tokovi na Zemlji izravnavajo približno 40 % sevalnih energijskih neravnovesij, zračni pa okrog 60 %: od

³V oceane pa so začeli t. i. "pametne" plovce bolj množično nameščati šele v zadnjih letih – a njihovo število se praktično iz dneva v dan povečuje; npr. avgusta 2007 jih je bilo skoraj 2900 (ARGO [9]). Potopijo se v globino 2000 m in potem jih morski tokovi kakih 9 ali 10 dni nosijo sem in tja, potem pa med dvigom na gladino izmerijo vertikalna profila temperature in slanosti, s površine odpošljejo podatke in se znova potopijo.

tega približno pol, to je 30 % s pretoki zaznavne toplote (to je zaznavne notranje energije) in drugih 30 % s pretoki latentne toplote v atmosferskem delu vodnega cikla: z izhlapevanjem, s prenosom pare z zračnimi masami sem in tja, in s sproščanjem kondenzacijske toplote ob padavinah. Lokalno so seveda izravnave lahko tudi precej drugačne.

Vonder Haar in Oort [10] sta že leta 1973 za severno poloblo ugotovila – in kar so kasneje potrdili še mnogi drugi (npr. [11, 12]), da je potrebno za izenačevanje sevalnih energijskih neravnotežij npr. prek severne geografske širine 30° , kjer sta deleža morskih in zračnih prenosov energije približno enaka, prenašati $5 \cdot 10^{15}$ W moči. Morski tokovi imajo večji delež predvsem južneje, v tropih in subtropih, kjer so oceani precej obsežni, pa tudi vremenska dogajanja v klimatskem območju stalnih pasatov so na splošno dokaj umirjena (izjeme so seveda divji tropski cikloni, ki pa zajemajo le majhna območja). V višjih geografskih širinah pa izravnava neravnovesja predvsem zračni tokovi. Tam kakega stalnega sistema meridionalne izmenjave zračnih mas sicer ni, saj Coriolisov efekt preusmeri vetrove v zahodnike. Zato tam ni sistematičnega, stalnega in enakomernega prenosa toplote in vlage proti poloma, kar pa povzroči, da se gradienti občasno povečajo tudi čez kritične vrednosti. To povzroči nestabilnost in zonalni tok zahodnikov se sprevrže v obsežne vrtince. V njih se pri nas in še severneje zato pogosto dogajajo prodori hladnega zraka daleč proti jugu in toplega daleč proti severu. Ti občasni in intenzivni vremensko spremenljivi meandri zračnih tokov poskrbijo za izdaten meridionalni prenos energije in vlage. Ti prodori so tako močni, da izravnave severneje od 40° g. š. pretežno zagotavljajo zračni tokovi – severneje od 60° g. š. pa praktično izključno zračni tokovi. (Tudi zaradi tega, ker so tu kontinenti precej sklenjeni in Arktični ocean skorajda nima stika z Atlantikom in Pacifikom, oceanski tokovi tam sploh niso mogoči.)

LITERATURA

- [1] *Nuklearna Eelektrarna Krško – Proizvodnja*,
http://www.nek.si/sl/o_nek/proizvodnja/.
- [2] C. Fröhlich, *Solar Constant*, Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos, World Radiation Center,
<http://www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant>.
- [3] *USGS Energy Resources Program*, <http://energy.usgs.gov/>.
- [4] *ERA-40 Atlas*, ECMWF,
http://www.ecmwf.int/research/era/ERA-40_Atlas/docs/index.html.
- [5] *EO Observation Deck: Net Radiation Dataset View*, NASA Earth Observatory,

- <http://earthobservatory.nasa.gov/Observatory/Datasets/netflux.erbe.html> ali *Outgoing Longwave Radiation::2005*, NASA Visible Earth, http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=7641.
- [6] David Stepaniak, *Vertically Integrated Mass, Moisture, Heat, and Energy Budget Products Derived from the NCEP/NCAR Reanalysis*, Climate Analysis Section, CGD, NCAR, <http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/newbudgets/>.
- [7] J. M. Wallace (diagram S. Medina) v: Holton, Curry in Pyle (ur.), *Encycl. Atmos. Sci.*, Acad. Press, 2003.
- [8] *The NCEP/NCAR Reanalysis Project at the NOAA/ESRL Physical Sciences Division*, Earth System Research Laboratory, <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml> in *NCEP/NCAR Reanalysis*, UCAR, <http://dss.ucar.edu/pub/reanalysis/>.
- [9] *ARGO – part of the integrated global observation strategy*, <http://www.argo.ucsd.edu/index.html>.
- [10] T. H. Vonder Haar in A. H. Oort, *New estimate of annual poleward energy transport by Northern Hemisphere oceans*, J. Phys. Ocean. **2** (1973), str. 169–172.
- [11] K. E. Trenberth in J. M. Caron, *Estimates of meridional atmosphere and ocean heat transports*, J. Climate **14** (2001), str. 3433–3443.
- [12] A. Czaja in J. Marshal, *The Partitioning of Poleward Heat Transport between the Atmosphere and Ocean*, J. Atmos. Sci. **63** (2006), str. 1498–1511.
- [13] *Wikipedia, the free encyclopedia*, <http://en.wikipedia.org/wiki/>.
- [14] H. Pichler, *Dynamik der Atmosphäre*, Spektrum Akademischer Verlag, 1997.
- [15] E. N. Lorenz, *Deterministic nonperiodic flow*, J. Atmos. Sci. **20** (1963), str. 130–141.
- [16] R. Grothjahn v: Holton, Curry in Pyle (ur.), *Encycl. Atmos. Sci.*, Acad. Press, 2003.
- [17] A. H. Oort in J. P. Peixoto, *The annual cycle of the energetics of the atmosphere on a planetary scale*, J. Geophys. Res. **79** (1974), str. 2705–2719; povzeto po: Holton, *An Intr. to Dynamic Meteorology*, Elsevier Acad. Press, 2004, 4. izdaja.

VESTI

OBVESTILO

V Obzorniku za matematiko in fiziko, letnik **49**, številka 2, str. 62–63, in na domači strani DMFA <http://www.dmfa.si/> je objavljen Pravilnik o podeljevanju društvenih priznanj.

Vabimo vas, da pisne predloge (z utemeljitvami) za letošnja priznanja pošljete **do 30. septembra 2008** na naslov: **DMFA Slovenije, Komisija za pedagoško dejavnost, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana**.

Predsednik DMFA Slovenije:
prof. dr. Milan Hladnik