

Sončna energija s satelitov

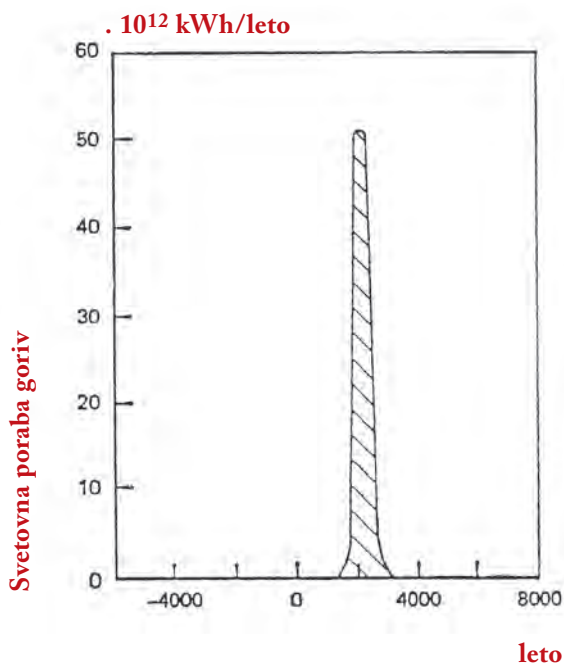
Janez Strnad

Zamisel, da bi sončno svetlobo izkoriščali z napravami na umetnih satelitih in energijo prenašali na Zemljo, se je najprej pojavila v znanstveni fantastiki. Morda je bila prva kratka zgodba biokemika in pisatelja Isaaca Asimova *Razum* iz leta 1941 o robotih, ki curek radijskih valov z vesoljske postaje usmerjajo na Zemljo.

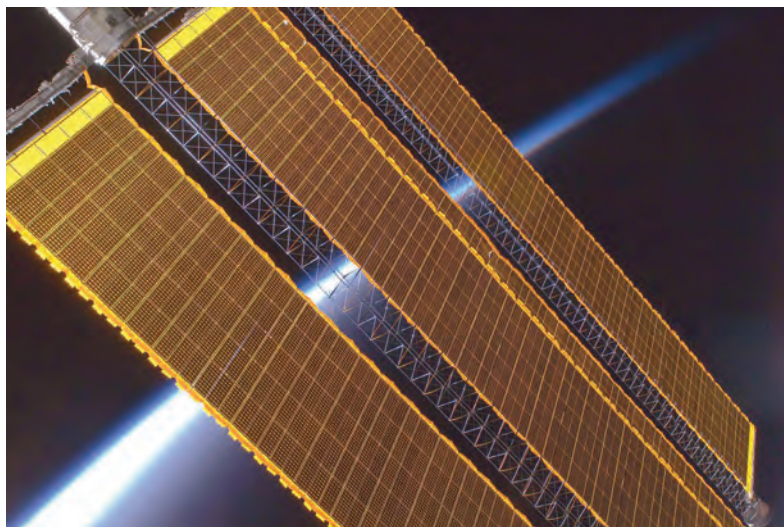
Sončne energije s satelitov danes še ne izkoriščajo, raziskovali pa so, kako bi jo bilo mogoče izkoriščati. V drugi polovici 20. stoletja so se zavedli, da bo začelo primanjkovati goriv in da naraščajočih energijskih potreb ne bo mogoče pokriti iz enega samega vira. Poleg varčevanja z energijo in obnovljivih energijskih virov na Zemlji bodo prišli prav še drugi viri. V tej zvezi so začeli

razmišljati tudi o sončni energiji, ki bi jo z umetnih satelitov prenašali na Zemljo. Najprej je v Združenih državah Amerike nekaj industrijskih družb in državnih ustanov, med njimi NASA, pregledalo možnosti. Do danes se je zanimanje za sončno energijo s satelitov razširilo po vsem svetu. Za raziskovanje so porabili že desetine milijonov dolarjev. Sredstev za tovrstno raziskovanje je bilo zdaj več, zdaj manj, včasih pa so presahnila.

Poskusimo pregledati, kakšne so možnosti, da bi načrt uresničili. Od vseh prispevkov o rabi energije v prejšnjih številkah *Proteusa* je ta najbolj v oblakih. Napravo bi sestavljali trije deli. Prvi del bi na umetnem satelitu svetlobo spremenil v energijo, ki bi jo drugi del prenesel na Zemljo in tretji tam zajel in jo kot električno energijo razdelil porabnikom. Prvi del bi sestavljale polprevodniške sončne celice ali zrcala, ki bi svetlobo zbrala na kotlu toplotnega stroja. Z električnim delom sončnih celic ali mehničnim delom toplotnega stroja bi napajali oddajne antene zelo kratkih radijskih valov, mikrovalov. Njihov curek bi usmerili proti Zemlji, kjer bi ga sprejele sprejemne antene, energijo mikrovalov spremenile v električno delo in to posredovale električnemu omrežju. Namesto curka mikrovalov bi bilo mogoče uporabiti



Predvidena odvisnost letne porabe fosilnih goriv, to je nafte, premoga in zemeljskega plina, od časa v Glaserjevem članku je ob svojem času strašljivo opozorila na minljivost goriv. Diagram so pozneje še velikokrat natisnili. »Vžigalica je zagorela v temi in ugasnila.« Glaser je leta 1968 porabo goriv podcenil. Največji letni rabi po njegovi napovedi $50 \cdot 10^{12}$ kWh na leto ustreza 5,7 TW. Poraba je že leta 2006 dosegla 13,6 TW. Tw, teravat, je bilijon vatov.



Sončne celice na Mednarodni vesoljski postaji. Večina umetnih satelitov krije svoje energijske potrebe s sončnimi celicami. Sončne celice za sončno energijo na Zemlji bi morale biti veliko večje. Vir: Wikipedia.

curek laserske svetlobe.

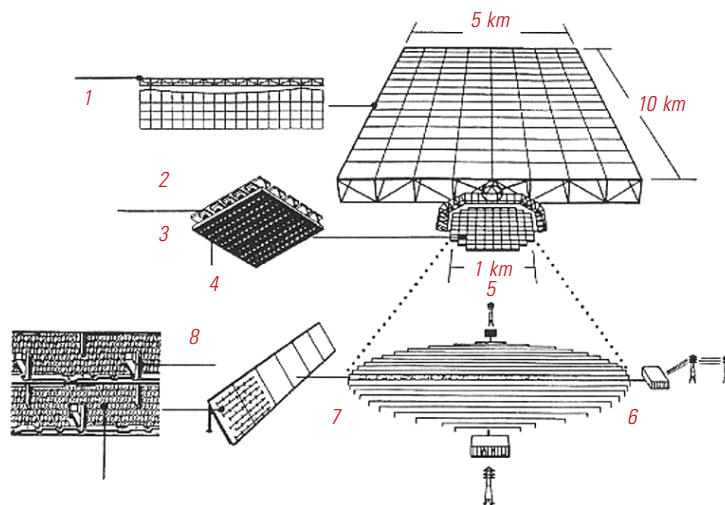
Sončna energija s satelitov bi imela nekaj prednosti. Na umetnem satelitu telesa nimajo znatne teže, zato bi bilo mogoče uporabiti lahke in zelo velike sončne celice. Ogrodje bi bilo potrebno le zato, da bi prenašalo razmeroma majhne plimske sile. Celice bi bile osvetljene skoraj ves čas, ne samo podnevi kot na Zemlji. V vesolju ne bi motili zrak in vremenske razmere. Najpripravljenši bi bil geostacionarni satelit, ki bi navidez miroval nad točko na ekvatorju v razdalji dobrih 42 tisoč kilometrov od zemeljskega središča, torej v višini slabih 36 tisoč kilometrov. Curek mikrovalov bi bilo razmeroma preprosto preusmeriti na kraj, kjer bi energijo najbolj potrebovali. Energija s Sonca bi bila čista.

Od slabosti je na prvem mestu treba omeniti visoko ceno za prenos tovora do umetnega satelita. Vesolje je neprijazen prostor in bi tudi zaradi drobnih meteoritov sončne celice hitreje postale manj učinkovite. Zamenjati bi jih bilo treba po krajšem času kot na Zemlji, tako da bi med svojim obratovanjem oddale manj energije. Nevarnost bi pretila tudi od odsluženih satelitov in raket. Kratkotrajna ohladitev ob prehodu satelita skozi zemeljsko senco bi lahko povzročila nastanek neprijetnih mehaničnih napetosti. Pri prenosu z mikrovalovi bi bilo treba za-

sesti frekvenčni pas, ki bi postal neraben za prenašanje sporočil. Za gostoto energijskega toka mikrovalov na Zemlji bi morali upoštevati predpisano zgornjo mejo.

Leta 1968 je Peter A. Glaser objavil odmeven članek *Moč s Sonca: njena prihodnost*, v katerem je poudaril, da je sončna energija »bistvena za preživetje ljudi«. Leta 1973 je dobil ameriški patent *Načini in naprave za pretvarjanje sončnega sevanja v električno moč*. S poudarkom se je zavzemal za sončno energijo s satelitov.

V okviru raznih načrtov so izvedli več poskusov, povezanih s tem ali onim vprašanjem sončne energije s satelitov. Že leta 1964 so letečemu helikopterju potrebno energijo dovajali s curkom mikrovalov. Okoli leta 1975 so z mikrovalovi prenašali moč 30 kilovatov na razdaljo 1,6 kilometra. V letih 2008 in 2009 so energijo, ki so jo dobili s sončno svetlobo z mikrovalovi, prenesli na razdaljo 150 kilometrov. Leta 1978 so podrobneje obdelali prenos energije z mikrovalovi z valovno dolžino 12 centimetrov. Ta je tolikšna, da elektromagnetno valovanje ne poškoduje živega tkiva. Le segreje ga, če je gostota energijskega toka velika. Za prenos bi uporabili na satelitu oddajno anteno s premerom en kilometer, sprejemna



Okvima razporeditev naprav pri izkoriščanju sončne energije s satelita: **1** zgradba antene iz sončnih celic, **2** oddajna antena, **3** oddajno anteno sestavljajo oscilatorji in ojačevalniki, ki jih napaja enosmerni tok in ki oddajajo radijske valove, **4** valovni vodniki, **5** premer mikrovalovnega curka z veliko gostoto toka ob anteni na satelitu, **6** curek mikrovalov z razmeroma majhno gostoto toka ob anteni na Zemlji, **7** antena 10 kilometrov krat 13 kilometrov, **8** dipolna antena s polovično valovno dolžino.

Risba je vzeta iz sestavka na spletu: Jerrard Pierce, Extraplanetary solar power the most promising sustainable energy option you ever heard of.

antena na Zemlji pa bi bila desetkrat večja. Slednjo bi sestavljala množica navpičnih kovinskih palic s polovično valovno dolžino. Izkoristek paraboloidne antene bi bil večji, vendar bi bili precej večji tudi stroški za njeno gradnjo. Ocenili so, da bi naprava za 4 milijarde vatov tehtala 80 tisoč ton, torej 20 kilogramov za kilovat. Tudi če bi uspelo močno znižati potrebno maso, denimo na 1 kilogram za kilovat, bi morali tovor prenesti s sto in več vesoljskimi plovili za večkratno uporabo. Najprej bi tovor prenesli na nizko tirnico in bi ga potem z drugačnimi plovili, denimo na ionski pogon, počasi dvignili na geosinhronsko tirnico.

Stroški bi presegli nekaj sto milijard dolarjev. Računajo, da elektrarna na premog ali jedrska elektrarna stane od 3 do 6 milijard dolarjev za vsako milijardo vatov. Podatki so morda že zastareli, a kažejo, da bi šlo za zelo velik podvig. Nasploh so podatki za ceno prenosa tovara z raketo zelo skopi. Umetni satelit sam je navadno zelo drag in je težko ločiti ceno satelita od cene za prenos na tirnico. Vrhu tega se stroški za prenos za

različne satelite in nosilne rakete precej razlikujejo. Upoštevati bi bilo treba tudi to, da pri sončni energiji s satelitov ne bi nastalo nič ogljikovega dioksida ali radioaktivnih odpadkov.

Ena od ocen za izkoristke

Pri zbiranju sončne svetlobe	88 %
Izkoristek sončnih celic	15 %
Pri pretvorbi v mikrovalove	77 %
Izkoristek oddajne antene	99 %
Pri potovanju po prostoru	≈ 100 %
Pri potovanju skozi zrak	98 %
Pri pretvorbi na Zemlji	78 %

Skupni izkoristek ≈ 8 %

Premišljevali so, ali bi bilo bolje prenašati energijo z lasersko svetlobo kot z mikrovalovi. Ali bi kazalo pomisliti na postaje na Luni ali na katerem od asteroidov? V tem primeru bi morali zgraditi trdnejše ogrod-

je sončnih celic, a precej manj trdno kot na Zemlji. Gravitacija na Luni je šestkrat šibkejša in na asteroidu še veliko šibkejša kot na Zemlji. Na Luni ali na asteroidu bi lahko uporabili snovi, ki bi jih pridobili na mestu, kar bi zmanjšalo potrebo po prenosu tovoru. Pri tem največkrat omenijo možnost, da bi to delo na Luni ali asteroidu opravili roboti, ki bi jih upravljali z Zemlje. Glede mikrovalov je treba upoštevati omejitve. Največja gostota njihovega energijskega toka na Zemlji naj ne bi presegala četrte gostote energijskega toka s Sonca, to je dobrih dvesto vatov na kvadratni meter. Toda to bi bilo več od ameriškega delovnega predpisa 100 vatov na kvadratni meter. Območje sprejemne antene bi moralo biti nedostopno. Zunaj tega območja bi se gostota energijskega toka mikrovalov zelo hitro

zmanjšala na zanemarljivo vrednost.

Eden od strokovnjakov je leta 2009 menil, da bi bila sončne energije s satelitov stotisočkrat dražja od sončne energije v arizonski puščavi in da se še desetletja ne bo splačala. Drugi pa je zapisal, da je sončna energija iz vesolja edina neomejena čista energija. Ne glede na to nadaljujejo z raziskovanjem možnosti. V prihodnosti utegne zaradi raznih izboljšav sončna energija s satelitov vendarle postati lažje dostopna.

Literatura:

Glaser, A. Peter, 1968: *Power from the Sun: its future.*

Science, 162: 857-861.

Glaser, A. Peter, 1977: *Solar power from satellites. Physics Today*, 30: 30-38 (2).

Space based solar power, http://en.wikipedia.org/wiki/Space_based_solar_power

V spomin • Dr. Janu Carneluttiju v spomin

Dr. Janu Carneluttiju v spomin

V četrtek, 8. novembra leta 2012, nas je razžalostila vest, da je v starosti dvaindevetdeset let umrl dr. Jan Carnelutti, priznani slovenski entomolog, lepidopterolog in mentor mnogim generacijam mladih naravoslovcev. Tako smo Slovenci letos izgubili že štiri ugledne in tudi v širšem prostoru pomembne entomologe, Sava Breliha (2. marca), v aprilu dr. Danico Tovornikovo, Vincenca Furlana in sedaj še Jana Carneluttija.

Rodil se je v Ljubljani 30. januarja leta 1920, mladost pa je preživel v Cerknici, v zelo zanimivem okolju za vsakega ljubitelja narave. Zaradi družinske tradicije, oče je bil lekarnar, je najprej študiral farmacijo, že pred drugo svetovno vojno pa ga je z lepoto metuljev okužil neki nemški zbiralec, ki je v Ljubljani razkazoval eksotične metulje. To

ga je tako navdušilo, da je tudi sam začel zbirati metulje in jih kasneje tudi preučevati.

Maturiral je na realki v Ljubljani leta 1940, na študij farmacije pa se je vpisal v Beogradu. Leta 1941 se je prepisal na študij biologije in kemije v Ljubljani. Tako kot večini njegove generacije je študij in načrte za prihodnost preprečila druga svetovna vojna. Že poleti leta 1941 se je pridružil Osvobodilni fronti, a so ga Italijani prijeli in internirali v Italiji. Po kapitulaciji Italije se je vrnil v Ljubljano in delal v lekarni. Po koncu vojne je bil nekaj časa zaposlen v Jugoslovanski armadi in ob tem je nadaljeval študij farmacije v Zagrebu. Od leta 1948 do 1951 je vodil lekarno v Cerknici.

Nato se je leta 1952 končno vpisal na študij biologije v Ljubljani in leta 1954 postal