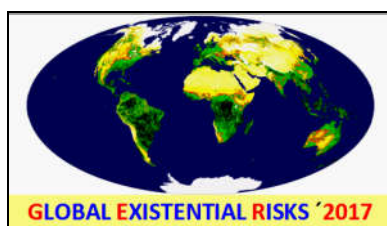


# ENERGETICKÁ BILANCIA ZEME A TEPELNÝ IMPULZ Z FOSÍLNYCH PALÍV

Peter PODHORANSKÝ

## ENERGY BALANCE OF THE EARTH AND THERMAL IMPULSE FROM FOSSIL ENERGY SOURCES



### ABSTRAKT

Príspevok uvádza súhrn faktorov, ktoré ovplyvňujú veľkosť elektromagnetického žiarenia dopadajúceho na Zem zo Slnka tak, aby sa dala veľkosť príspevkov dať do vzájomnej súvislosti. Poukazuje na to, že rastúce otepľovanie atmosféry nie je len výsledkom nárastu CO<sub>2</sub> v atmosfére, ale aj výsledkom extrémne rýchleho priameho uvoľňovania tepelnej energie, ktorá sa ukladala do fosílnych palív vo veľmi dlhých geologických obdobiach.

### KLÚČOVÉ SLOVÁ:

Solárna konštanta, Milankovičove cykly, Geologické obdobie, Energetická bilancia elektromobilov

### ABSTRACT

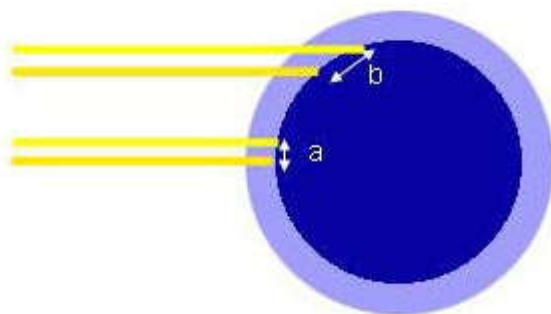
The paper presents a summary of the factors that affect the magnitude of electromagnetic radiation incident to Earth from the sun so that the size of the contributions can be related. It points out that the increasing warming of the atmosphere is not only the result of an increase in CO<sub>2</sub> in the atmosphere, but also the result of an extremely rapid direct release of thermal energy that has been deposited into fossil energy sources in very long geological periods.

### KEY WORDS

Solar constant, Milankovitch Cycles, Geological period, energy balance of electric vehicles

### Energetická bilancia

Zväzok lúčov slnečného svetla dopadajúceho na Zem na rovníku je približne kolmý k zemskému povrchu, teda plocha ožiarenej Zeme (oblasť a), je rovnaká ako šírka zväzku lúčov. Bližšie k pólom zväzok lúčov rovnakej šírky pokrýva oveľa väčšiu plochu Zeme (oblasť b), pretože dopadá v odlišnom uhle k zemskému povrchu. Teda na jednotkovú plochu povrch Zeme prijíma viac energie v tropických pásmach, než tomu je na pólach. Podobne na poludnie, kedy Slnko je najvyššie na oblohe, slnečný lúč istej šírky osvetlí menšiu oblasť, než by osvetlil pri úsvite alebo súmraku, kedy je Slnko nižšie na oblohe. Slnko preto pociťujeme ako najhorúcejšie na poludnie.



$$\sigma = \frac{P}{S}$$

$\sigma$  je hustota výkonového toku cez jednotku plochy,  $P$  je výkon žiariča a  $S$  je plocha, do ktorej žiari žiarič.

Ak predpokladáme, že žiarič vyžaruje do povrchu gule (je všesmerový), potom  $S=4\pi r^2$ .

Pri danom výkone Slnka  $P$  a pri danej vzdialenosti Zeme od Slnka  $r$  dopadá na  $1\text{m}^2$  zemskej atmosféry typicky výkon  $1400\text{W}$  elektromagnetického žiarenia s najrôznejšími vlnovými dĺžkami. Nazýva solárna konštanta, hoci, ako ukážeme v ďalšom, je v dlhom časovom merítku je táto veličina premenlivá a to z rôznych dôvodov. Do vnútornej atmosféry sa z toho dostane  $342\text{W}/\text{m}^2$ .

Obr. 1 Slnčné žiarenie prichádza v inom uhle k zemskej povrchu na pólach než na rovníku. Preto na jednotkovú plochu Zem prijíma viac tepla na rovníku než na pólach.

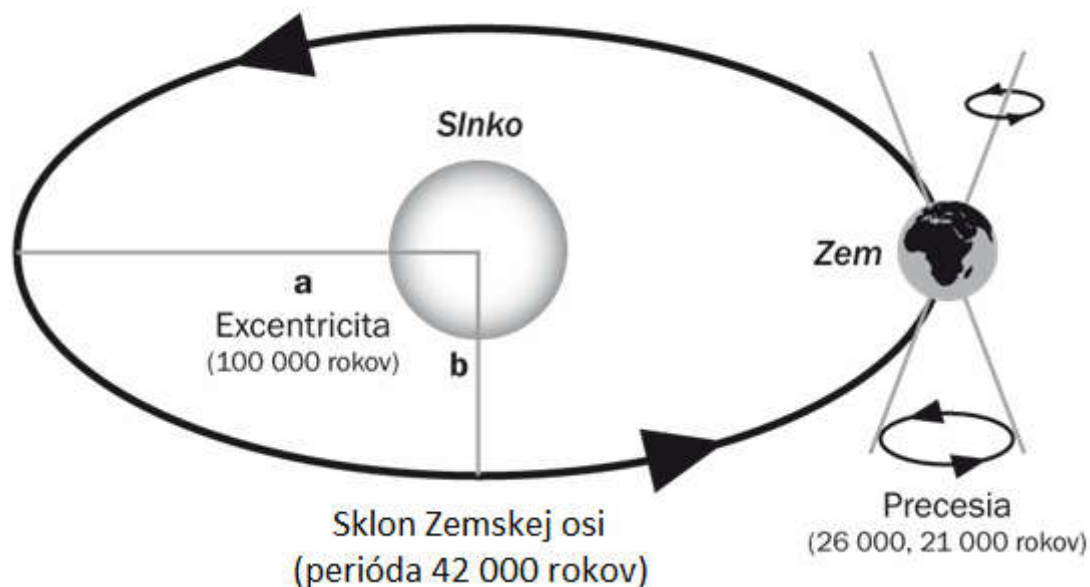
Je dôležité vedieť, že teplotu na povrchu Zeme ovplyvňuje takmer výlučne príjem tepla zo Slnka. Teplo prenikajúce na povrch Zeme z jej horúceho jadra je oproti príjmu tepla zo Slnka zanedbateľné. Z toho vyplýva, že aj príčinu striedania dôb ľadových a medziľadových treba hľadať v Slnku. Presnejšie povedané: v periodicky sa opakujúcich zmenách vzdialenosti našej planéty od Slnka pri obehu Zeme okolo neho, ale aj v zmenách jeho svietivosti.

Vieme, že dráha Zeme – orbita – nie je dokonalý kruh, ale podlieha malým a periodicky sa opakujúcim odchýlkam. Aj keď rozdiel medzi maximom a minimom predstavuje len 6 percent priemeru orbity, vzhľadom na platnosť vzťahov na obr. 1 to vedie k viac ako 12% výkyvom vo veľkosti dopadajúceho výkonu, čo je významná hodnota. Celý cyklus (od minima k maximu a naspäť) trvá 96 tisíc až 127 tisíc rokov. Práve také sú intervaly striedania dôb ľadových a medziľadových. Nemení sa ale iba orbita. Nestabilný je aj uhol zemskej osi k ekliptike, teda roviny obehu Zeme okolo Slnka. Tento uhol sa nazýva sklon zemskej osi a kolíše medzi 22,1 a 24,5 stupňami a čas prechodu medzi týmito dvomi výkyvmi trvá Zemi 42 tisíc rokov.

A je tu aj ďalšia nepravidelnosť v pohybe zemskej osi – odborníci jej hovoria precesia a jej maximálne odchýlky sa periodicky opakujúce raz za 25 700 rokov.

Tieto tri cyklicky sa opakujúce zmeny v obehu Zeme okolo Slnka dostali názov Milankovičove cykly (podľa srbského fyzika a matematika, ktorý počas prvej svetovej vojny dokázal ich existenciu a matematicky ich vysvetlil). Graficky ich zobrazuje obrázok 2.

## Milankovičove cykly



Obr. 2 Milankovičove cykly

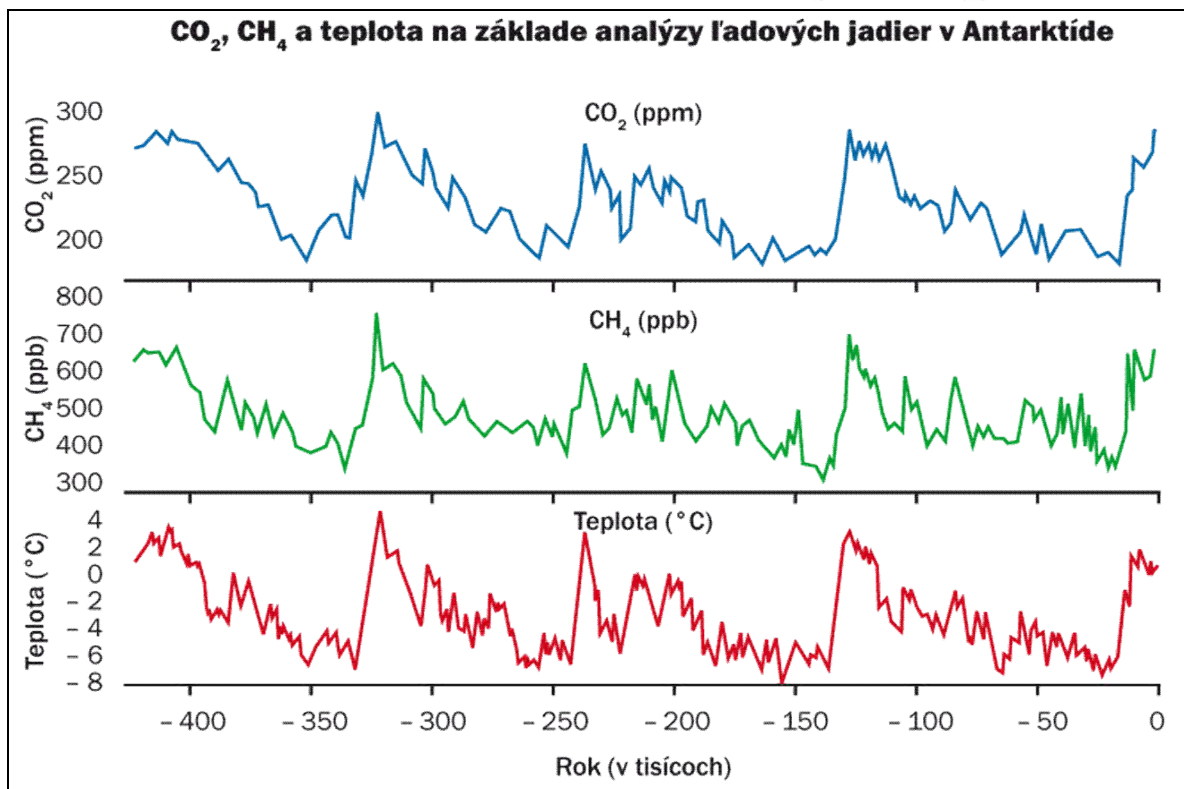
Nepriame metódy (analýzy dlhovekých drevín, ľadovcových jadier, sedimentov, chemického zloženia koralov a podobne) vedcom umožňujú rekonštruovať vývoj klímy v dávnejšej minulosti. Napríklad analýzou chemického zloženia vzduchu uväzneného v grónskom alebo antarktíckom ľadovci hlboko pod povrchom sú vedci schopní určiť priemernú teplotu a zloženie atmosféry pre stovkami tisíc až niekoľkými miliónmi rokov.

Vďaka takýmto analýzám poznáme dlhodobý vývoj teploty aj koncentrácie plynov v ovzduší, ktoré teplotu atmosféry zásadne ovplyvňujú (kyslíčnik uhličitý a metán). Ukazuje to obr. 3.

Okrem tohto dlhodobého kolísania v dôsledku zmien vzdialenosti Slnko-Zem existuje aj kolísanie aktivity Slnka typicky v 11-ročných cykloch, pričom maximum a minimum sa prejavuje rozdielom v príjme energie 0,25 wattu na meter štvorcový, teda 0,073% z celkového prijímaného výkonu 342W/m<sup>2</sup>.

Okrem týchto relatívne krátkodobých 11 ročných výkyvov v svietivosti Slnka existuje dlhodobá zmena v svietivosti Slnka, ktorá vyplýva z jeho vývoja ako hviezdy. Súčasná svietivosť Slnka zodpovedá výkonu žiariaceho zdroja  $P=3,827 \times 10^{26}$  W. Slnko vzniklo asi pred 4,5 miliardami rokov. Čaká ho ešte približne ďalších 5 miliárd rokov relatívne stabilnej existencie, počas ktorej prebieha termojadrová syntéza vodíka na hélium. Od začiatku termojadrovej syntézy do súčasnosti vzrástla centrálna teplota z počiatočných 7 mil °C na dnešných 15,4 mil °C, centrálna hustota vzrástla 2 krát. Obsah vodíka v Slnku stále klesá, no výkon hviezdy zase stále narastá. Je to tým, že pri narastajúcej teplote a hustote v jadre prebieha termonukleárna premena rýchlejšie. Na začiatku po zapálení termojadrovej syntézy malo Slnko menší polomer o 10% ako v súčasnosti.

*Práve vznikajúcu Zem vtedy ohrievalo o 30% menej ako dnes. Ďalší vývoj Slnka bude pokračovať tak ako doteraz: jeho výkon bude stúpať tempom 1%/100 mil rokov. Na Zemi by mala stúpať teplota, a to asi o 1 °C za 160 mil. rokov, čo za 1 miliardu rokov spôsobí veľmi rýchle odparovanie oceánov.*



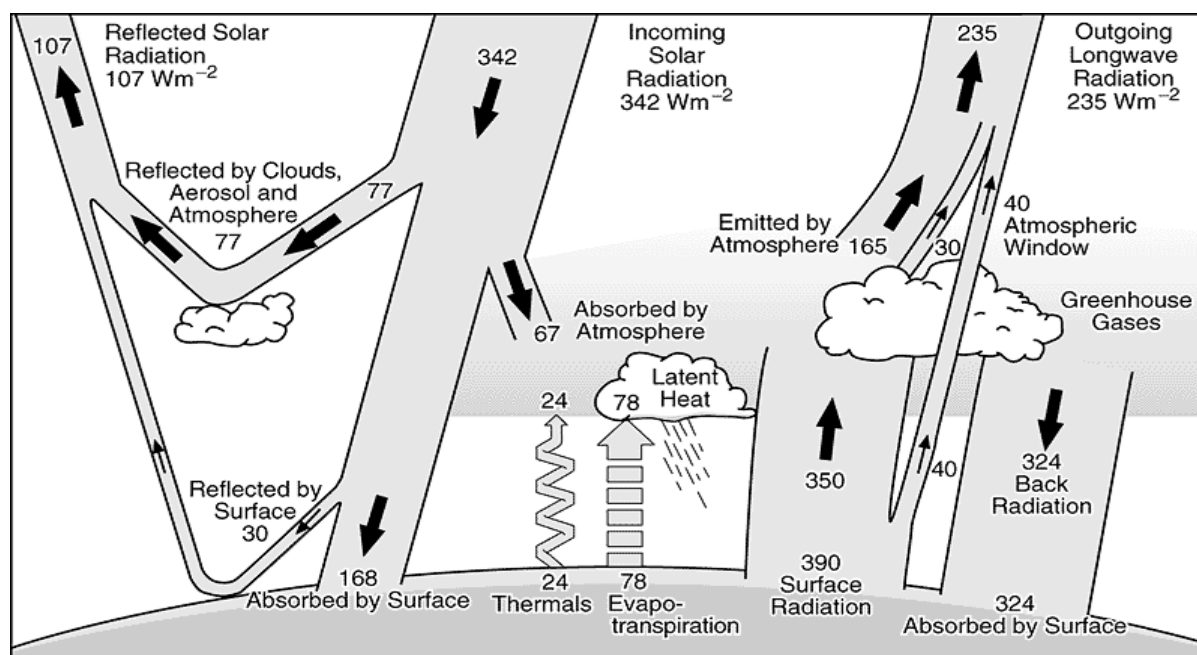
*Vieme, že dráha Zeme – orbita – nie je dokonale kruh, ale podlieha malým a periodickým sa opakujúcim odchýlkam. Aj keď rozdiel medzi maximom a minimom predstavuje len 6 percent priemeru orbity, má obrovský význam z pohľadu množstva slnečného žiarenia prenikajúceho cez atmosféru na Zem. Celý cyklus (od minima k maximu a naspäť) trvá 96 tisíc až 127 tisíc rokov (Milankovičove cykly). Práve také sú intervaly striedania dôb ľadových a medziľadových.*

*Obr. 3 Súvislosť kolísanie parametrov zemskej atmosféry s Milankovičovými cyklami*

Časť prichádzajúceho slnečného žiarenia (čo je hlavne ultrafialové, viditeľné svetlo a infračervené malej vlnovej dĺžky) je odrážané alebo rozptýlené okamžite späť do vesmíru atmosférou a časť je absorbovaná Zemou (viď obrázok 4). Akonáhle je žiarenie absorbované, zemský povrch re-emituje túto energiu s väčšou vlnovou dĺžkou vo forme vyžarovaného tepla, avšak časť z prijatej energie je nevyhnutná pre fotosyntézu a následne pre všetky deje, súvisiace so životom na Zemi. Určitá časť prijatej slnečnej energie sa ukladá hlavne vo forme uhlíkových zlúčenín. Tak vznikli všetky zásoby fosilnej energie. Treba si uvedomiť, že fosilná energia je v podstate uhlík, ktorý sa ukladal v podobe zásob uhlia a ropy, prípadne zemného plynu na rôzne miesta Zeme. Dominantným mechanizmom bola fotosyntéza, ktorá umožnila využívať CO<sub>2</sub> z ovzdušia na stavbu tiel rastlín a následne živočíchov. Tento proces sa uskutočňoval počas veľmi dlhého obdobia. Následne sa za určitých okolností uhlík ukladal. Napr. čierne uhlie začalo vznikať v období Silúru asi pred 444 miliónmi rokov z rastlinných a živočíšnych tiel a proces tvorby zuhoľnatenia trval aj počas nasledujúcich geologických období kontinuálne niekoľko stamiliónov rokov. Na obr. 4 je uvedená aj charakteristika atmosféry tohto geologického obdobia, vrátane priemernej teploty, ktorá bola 3°C nad dnešným priemerom, pričom priemerná koncentrácia CO<sub>2</sub> bola v tom období asi 16 násobná.

Silúr		Charakteristika atmosféry silúru	
Zaradenie		(hodnoty veličín sú priemery za celé obdobie trvania)	
Periódá paleozoika		Priemerný obsah kyslíka	14 obj. % (70 % oproti dnešku)
← ordovik                      devón →			
Časové rozpätie silúru (v miliónoch rokov)		Priemerná koncentrácia CO <sub>2</sub>	4 500 ppm (16-násobok oproti dnešku)
Začiatok	443,7 (± 1,5)		
Koniec	416 (± 2,9)	Priemerná teplota	17 °C (3 °C nad dneškom)
Trvanie	27,7		

Obr. 4. Geologické obdobie Silúr, počas ktorého začali vznikať organické usadeniny, z ktorých sa v neskorších geologických obdobiach vytvorilo čierne uhlie



Obr. 5: Ročná bilancia vyžarovania Zeme. Čísla sú všetky vo  $W.m^{-2}$  (watt na štvorcový meter), rozmere energie. Z prichádzajúceho žiarenia je 49% ( $168 \div 342$ ) absorbované zemským povrchom. To je to, čo riadi skleníkový efekt [obrázok adaptovaný z Kiehl & Trenberth, 1997].

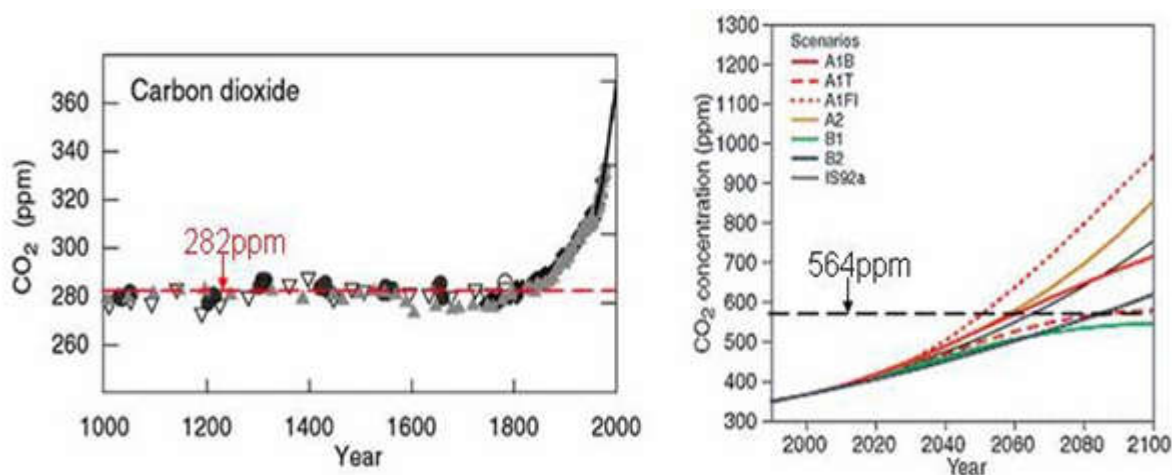
Tento obrázok nevystihuje skutočnosť, že časť solárnej energie sa na Zemi ukladá v dôsledku existencie života a preto sa zo Zeme nemôže vyžiariť presne toľko energie, koľko Zem od Slnka prijme. Všetky rastliny potrebujú pre fotosyntézu slnečnú energiu, ktorá bezpodmienečne nevyhnutná pre tvorbu uhľíkatých zlúčenín tvoriacich ich telá. Na tento energetický zásobník naväzujú živočíšne organizmy. Aj všetky fosilné palivá majú v sebe uloženú časť žiarivej energie Slnka až dovtedy, kým ich nespálime. Až vtedy sa uložená energia Slnka a sprievodne uložený uhlík z nich uvoľní. Obrázok by bol správny, keby planéta Zem bola mŕtva. Spaľovaním palív vzniká nielen CO<sub>2</sub>, ale aj teplo, ktoré

tiež prispieva k otepľovaniu atmosféry. Súčasný nárast CO<sub>2</sub> vzniká len uvoľnením z fosílnych palív, ktoré vznikli v dôsledku pradávnej fotosyntézy.

### Fosilny energetický impulz

Jeden z najdiskutovanejších faktorov súčasnosti, ktorý vplýva na teplotu povrchu Zeme, je atmosférická koncentrácia kyslíčnika uhličitého. Kyslíčnik uhčitý je "skleníkový plyn". To znamená, že neodráža veľa prichádzajúceho slnečného žiarenia, ale silno pohlcuje odchádzajúce, dlhovlnné, tepelné žiarenie, ktoré spätne zahrieva atmosféru.

Atmosférické koncentrácie kyslíčnika uhličitého sa zvyšovali v predchádzajúcich 200 rokoch, alebo tiež od začiatku priemyselnej revolúcie. Zdrojom je najmä spaľovanie fosílnych palív (uhlie, olej a benzín) - pre dopravu, priemysel, elektrinu alebo teplo. K zvyšovaniu CO<sub>2</sub> prispieva tiež intenzívne poľnohospodárstvo a odlesňovanie. Obrázok 6 ukazuje atmosférickú koncentráciu kyslíčnika uhličitého v predchádzajúcich 1000 rokoch.



Obrázok 6: Globálne atmosférické koncentrácie CO<sub>2</sub> v dieloch na milión (ppm – milióntina –  $1 \cdot 10^{-6}$ ) meraná v predchádzajúcich 1000 rokoch (vľavo) a odhadovaná pre nasledujúcich 100 rokov (vpravo). Prameň: IPCC Third Assessment Report.

Vedci si stále nie sú istí, ako presne bude klimatický systém Zeme reagovať na zmeny v kyslíčniku uhčitom a iné zmeny v zložení atmosféry, avšak keď porovnáme obr. 3, kde je znázornené dlhodobé kolísanie CO<sub>2</sub> v priebehu Milankovičových cyklov a obr. 6, vidíme, že počnúc érou spaľovania fosílnych palív pre priemyselné účely nastal v atmosfére atypický nárast obsahu CO<sub>2</sub>, ktorý v súčasnosti presahuje asi o 20% všetky maximá v období za posledných 400 tisíc rokov a podľa rôznych odhadov by sa mal do roku 2100 zdvojnásobiť.

Všeobecne sa usudzuje, že súčasný trend klimatického otepľovania Zeme, ktorý je jasne zdokumentovaný, je spôsobený práve týmto prírastkom CO<sub>2</sub> v zemskej atmosfére, aj keď existujú aj stanoviská, ktoré vplyv zvyšovania obsahu CO<sub>2</sub> v atmosfére Zeme na jej otepľovanie bagatelizujú. Toto stanovisko v súčasnosti zastáva napr. vláda USA. Medzi argumenty proti klimatickému otepľovaniu v dôsledku nárastu CO<sub>2</sub> v atmosfére by mohli patriť napr. údaje o zložení zemskej atmosféry napr. v Silúre (pozri obr. 4), kedy obsah CO<sub>2</sub> v atmosfére bol oproti dnešnému 16 krát väčší (4500ppm) a napriek tomu priemerná teplota atmosféry bola len o dva stupne Celzia vyššia, ako je dnes. Tu by bolo vhodné poukázať na to, že obdobie Silúr trvalo od 444 do 437 miliónov rokov pred súčasnosťou a podľa faktov uvedených v poslednom odstavci na str. 2 sa dá tvrdiť, že skleníkové účinky CO<sub>2</sub> mohla kompenzovať nižšia aktivita Slnka. Presný výpočet aktivity Slnka v jednotlivých



geologických obdobiach nie je predmetom tohto príspevku. Chceme však poukázať na množstvo faktorov, ktoré hrajú úlohu v diskusiách o globálnom otepľovaní Zeme.

Zemská zeleň za pomoci energie svetelného žiarenia Slnka transformovala CO<sub>2</sub> z plynnej podoby na pevnú formu v podobe tiel živých organizmov, z ktorých sa pomerne veľká časť ukladala a nevracala sa do plynného cyklu, takže vytvorila zásoby fosílnych palív, ktoré sú základným kameňom energetiky súčasného hospodárstva. Predmetom diskusie by mohla byť otázka, odkiaľ sa brali obrovské množstvá CO<sub>2</sub>, ktoré živé organizmy na Zemi s pomocou slnečného žiarenia zabudovávali do svojich tiel, pretože tento proces trval aspoň 400 miliónov rokov a také množstvo CO<sub>2</sub> nemohlo vzniknúť v zemskej atmosfére v jednom okamihu. Je pravdepodobné, že CO<sub>2</sub> sa postupne uvoľňovalo zo sopečnej činnosti, takže jeho koncentrácia v atmosfére nebola pre zelené rastliny fatálna a tieto ho mohli postupne „konzumovať“.

Ako je známe z teórie riadenia, jedným zo základných testovacích signálov pre akýkoľvek systém je tzv. impulzová funkcia. Odpoveď systému na impulz dáva vedcom významné informácie o vlastnostiach skúmaného systému. O našej Zemi sa v súčasnosti dá povedať, že ľudstvo za posledné storočie práve vytvára obrovský energetický impulz v podobe skokového vzrastu množstva tepla a CO<sub>2</sub> v atmosfére, ktorý nemal v histórii obdobu. Obrovské množstvo uhlíka, ktoré sa ukladalo počas stámiliónov rokov, moderná civilizácia premieňa spaľovaním na pôvodnú plynnú fázu a to za obdobie miliónkrát kratšie, ako obdobie, počas ktorého sa slnečná energia do fosílnych palív ukladala. Treba si uvedomiť, že medzi priamym spaľovaním fosílnych energetických zdrojov a ich využívaním v tepelných strojoch nie je príliš veľký rozdiel. Bežne dostupné stroje sú schopné na mechanickú alebo elektrickú energiu premeniť len 30-45% tepelnej energie, bez ohľadu na to, či ide o motory automobilov, turbíny prúdových lietadiel, alebo turbíny v elektrárnach. Zvyšok tepelnej energie sa musí „vypustiť“ do okolia, inak by tepelný stroj nemohol fungovať. To vyplýva z fyzikálnych zákonov. Teda súčasná technologická spoločnosť neohrieva atmosféru len zvyšovaním obsahu CO<sub>2</sub> v atmosfére, ale aj priamym uvoľňovaním tepla v spotrebičoch fosílnych palív, nech sú využívané v akejkoľvek forme. Nesmieme zabudnúť, že to platí aj o elektromobiloch, pretože elektrická energia potrebná pre nabíjanie elektromobilov je vytváraná okrem jadrových elektrární iba v elektrárnach, spaľujúcich fosílnu palivá. Elektrickú energiu z fotopanelov možno úplne zanedbať. Pokiaľ sa elektrická energia získava v elektrárnach so spaľovaním fosílnych palív, z hľadiska tepelného znečistenia Zeme sú elektromobily rovnako škodlivé ako automobily s bežným spaľovacím motorom. Navyiac v dôsledku nevyhnutných akumulátorov majú výrazne väčšiu hmotnosť, čo je energeticky nevýhodné (napr. vozidlo Tesla je o 400kg ťažšie ako ekvivalentná limuzína Octavia so spaľovacím motorom). Navyiac v zimnej prevádzke, keď je potrebné kúriť, automobil so spaľovacím motorom využíva na tento účel „odpadové“ teplo, takže zimná prevádzka je ekologickejšia ako letná. Elektromobil musí na vykurovanie kabíny používať čistú elektrickú energiu a takto sa mu skracuje dojazd. Jedinou výraznou výhodou elektromobilov je neprítomnosť exhalátov, čo je zaujímavé v mestskej prevádzke, hoci použitej elektrickej energii zodpovedajúce CO<sub>2</sub> a exhaláty sa len presunú do elektrární. Tam sa síce lepšie rozptýlia, ale zostávajú v atmosfére. Navyiac je ťažké predvídať, ako by sa zachovali štáty voči cene elektriny pre elektromobily pri súčasnej dani 400-500€ na tisíc litrov uhl'ovodíkového paliva, keby sa väčšina energetickej spotreby automobilov presunula na elektrinu.

## Záver

Záverom možno konštatovať, že je len veľmi ťažko predvídať odozvu takého zložitého systému ako je Zem na mimoriadne intenzívne uvoľnenie fosílnej energie a preto je potrebné na zníženie neefektívnej spotreby fosílnych palív využiť všetky racionálne prostriedky, ktoré máme v súčasnosti k dispozícii. Na získavanie solárnej energie v budúcnosti autor vidí väčšiu perspektívu vo využívaní fotosyntézy zelených rastlín a ich prípadnej cielenej génovej manipulácii pre energetické ciele. Využívanie kremíkových solárnych panelov má oproti fotosyntéze prinajmenšom tú nevýhodu, že „vedľajším“ produktom fotosyntézy je produkcia kyslíka. Výhodou solárnych panelov je priama produkcia elektrickej energie (zatiaľ s účinnosťou nie väčšou ako 30%), nevýhodou negatívna ekologická bilancia pri ich výrobe.



## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] Kusky, T., 2005, *Encyclopedia of Earth Sciences*. Facts On File, Inc., New York, s. 278 – 280
- [2] <https://phys.org/news/2017-01-earth-orbital-variations-sea-ice.html> - Earth's orbital variations and sea ice synch glacial periods
- [3] Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. Fan, J.X., 2013, The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes*, 36, 3, s. 199-204
- [4] <https://sk.wikipedia.org/wiki/Sil%C3%BAr>

## ADRESA AUTORA

**Doc. Ing. Peter PODHORANSKÝ, PhD.**

Slovenská spoločnosť pre životné prostredie, Koceľova 15, 815 94 Bratislava, Slovenská republika  
e-mail: <peter.podhoransky@gmail.com>

### **RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU**

*Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.*

### **REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS**

*Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.*