# Energetická kríza - šanca pre riešenie civilizáčných neduhov?


***Fero Simančík***

*frantisek.simancik@savba.sk*

*Institute of Materials and Machine Mechanics*
*Slovak Academy of Sciences*

*Dúbravská cesta 9/ 6319, 845 13 Bratislava, SK*

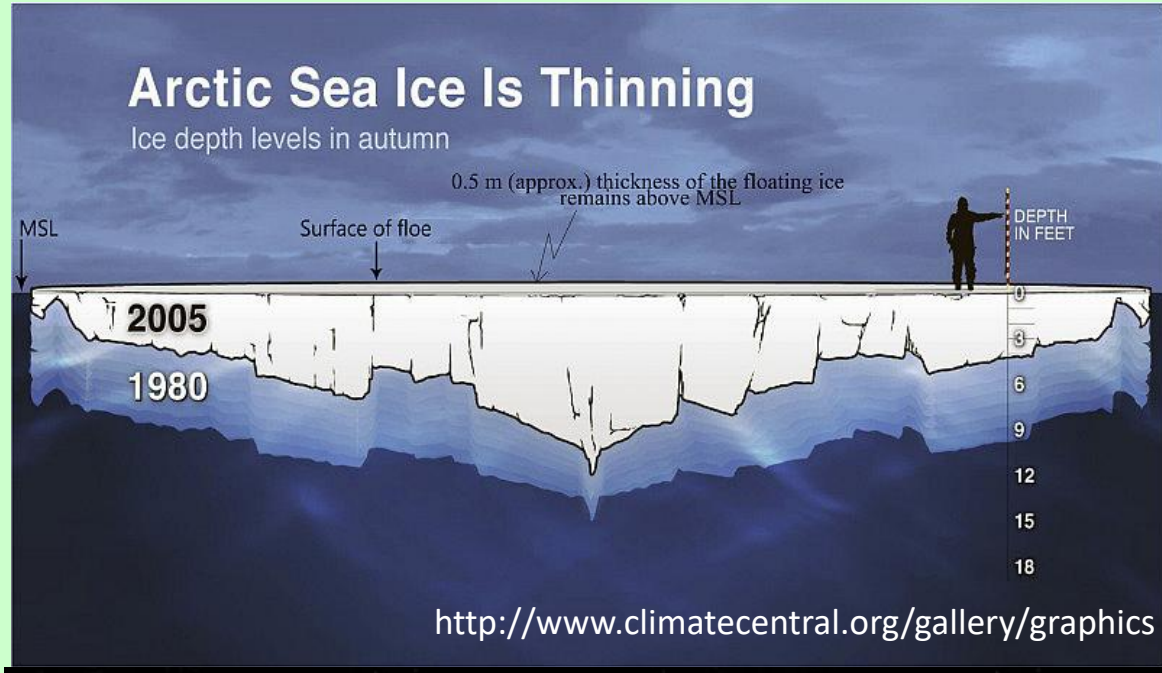
**Seminár SNMT, Bratislava – 21.6.2022**

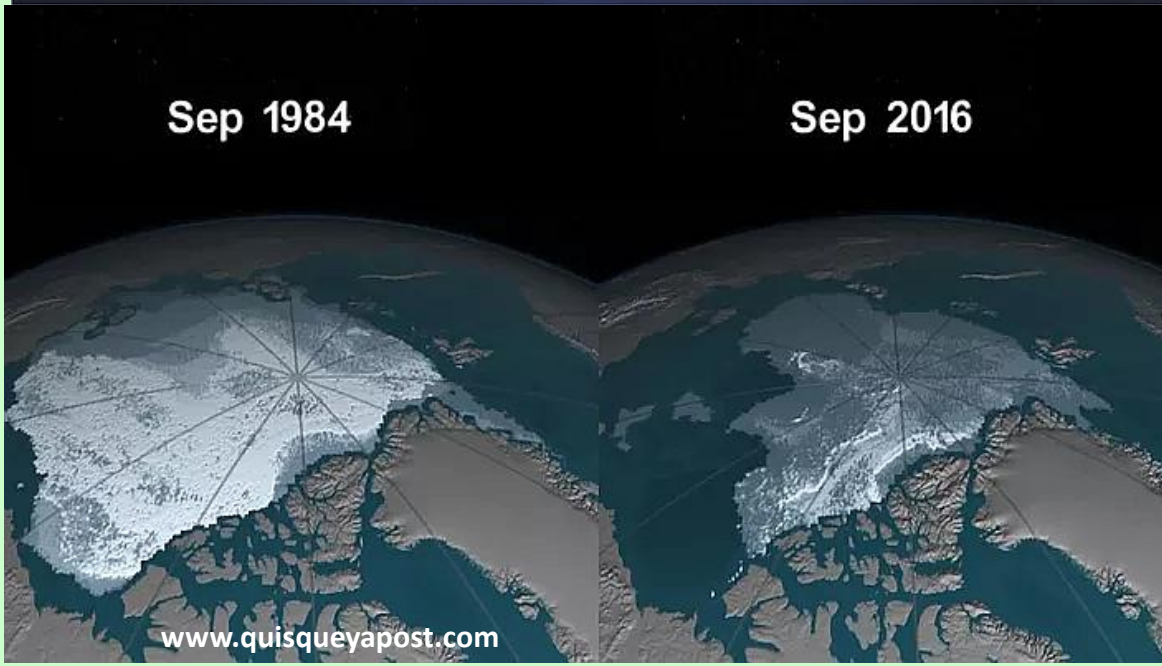
# Deje sa niečo?

**Pozn.:**

**pri topení ľadu sa veľa tepla spotrebováva na fázovú zmenu a preto nedochádza k extrémnemu zvyšovaniu okolitej teploty.**

**Keď sa však všetok ľad rozpustí prebytočné teplo sa už nepremení na chemickú energiu viazanú vo fázovej zmene ale spôsobí výraznejšie zvýšenie okolitej teploty**

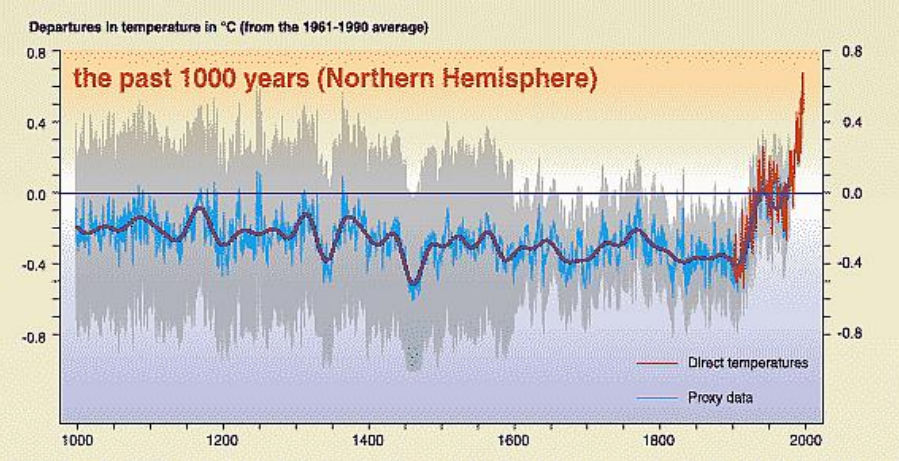


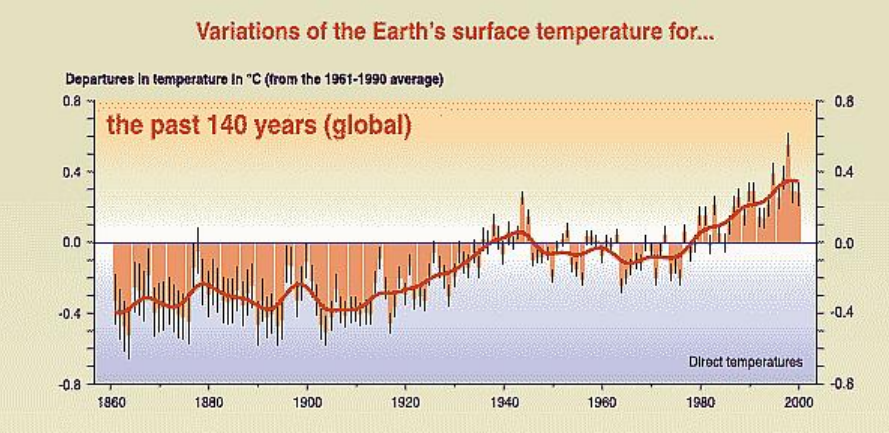



# Deje sa niečo?

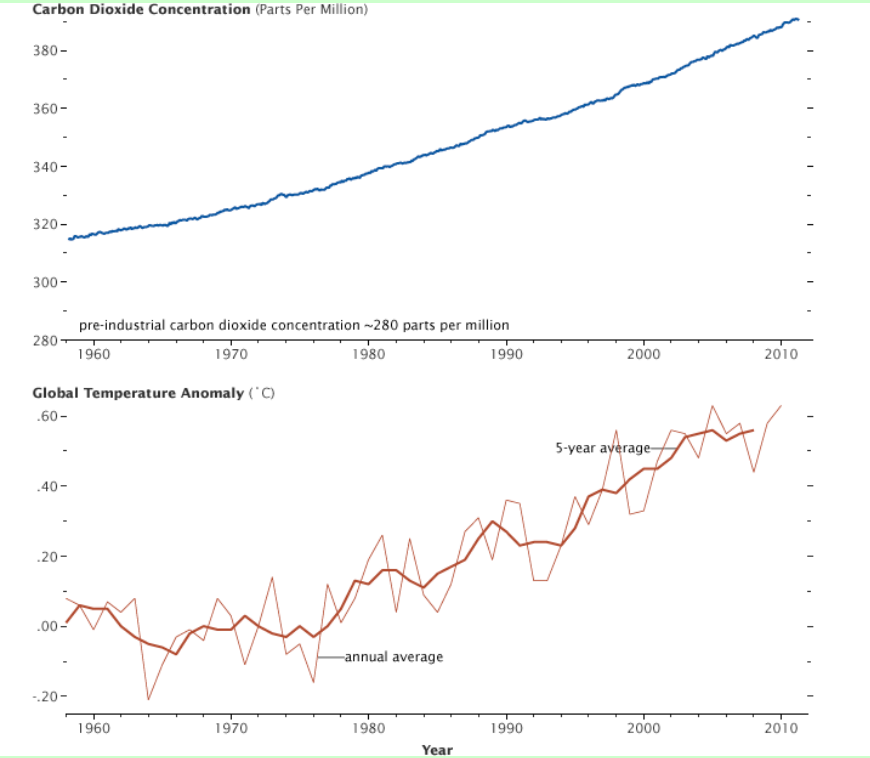
**we are very probably facing climate change**

**civilisation is suspected to cause it by emitting too much $CO_2$ when using fossil fuels**




**Source:** IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, Intergovernmental Panel on Climate Change.
http://whatsyourimpact.org/greenhouse-gases/carbon-dioxide-emissions



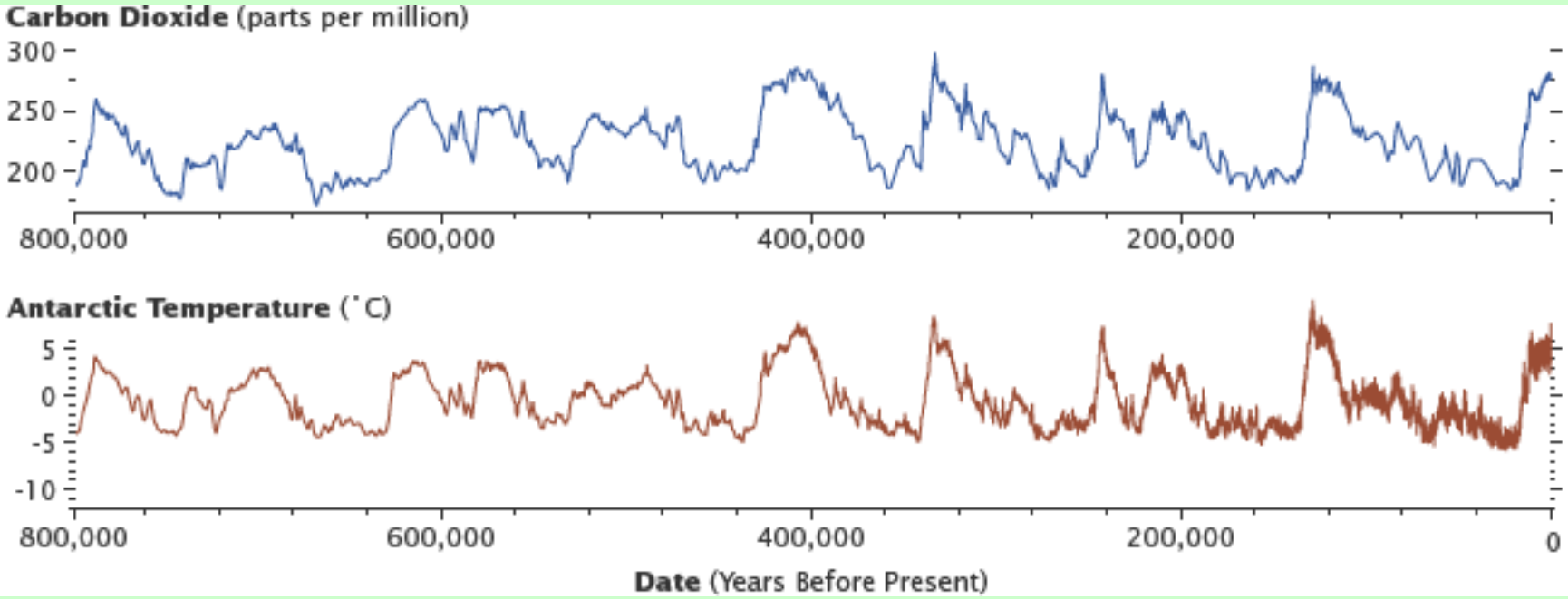

*Graphs by Robert Simmon, using CO2 data from the NOAA Earth System Research Laboratory and temperature data from the Goddard Institute for Space Studies.*

# Deje sa niečo?

**Áno – v poslednej dobe sa určite otepľuje.....**

# Je to nezvyčajné?

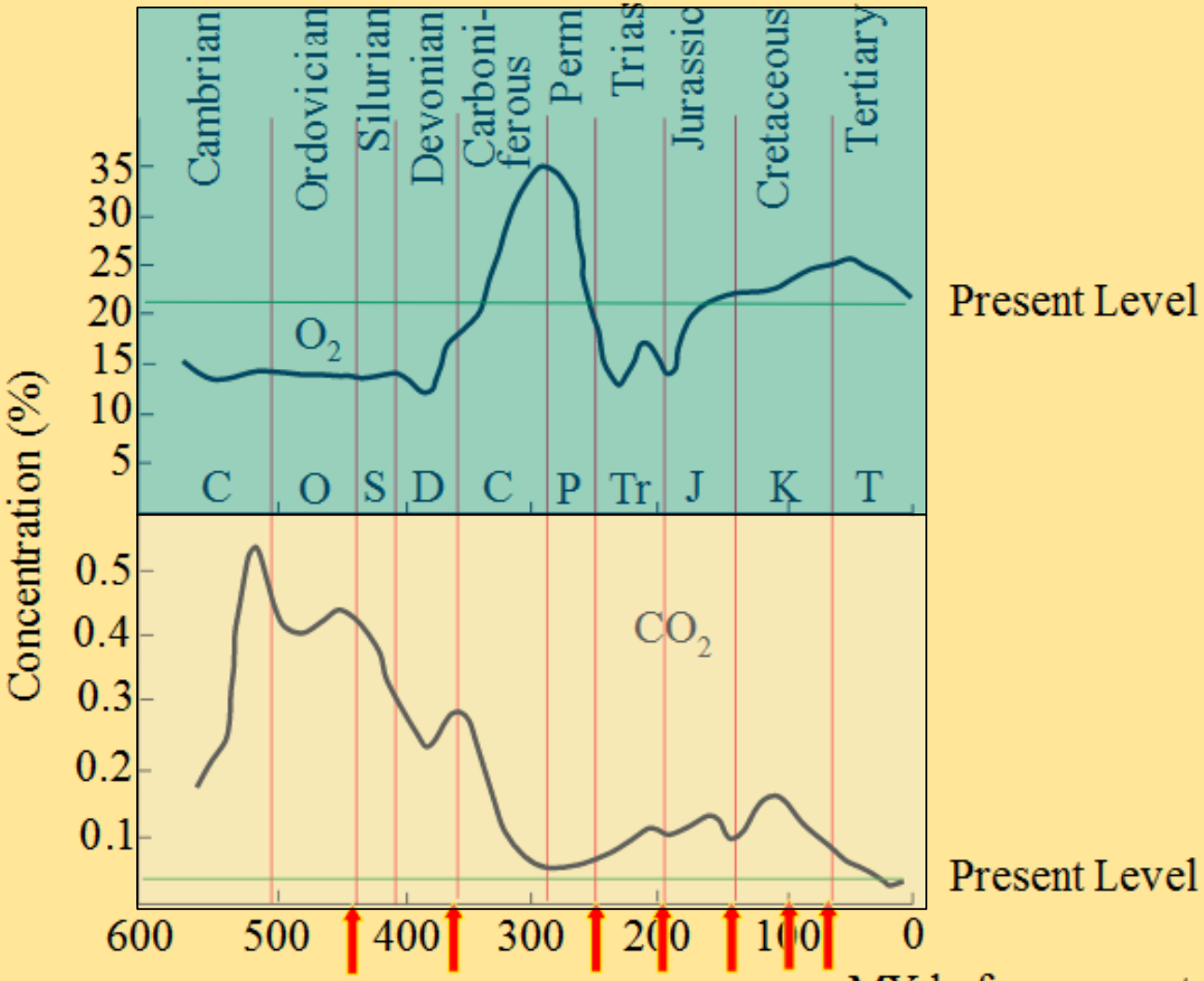
## CO2 v atmosfére versus teplota (800 tis. AC – 2008)




**Nie – na Zemi sa to už stalo viackrát**

Graphs by Robert Simmon, using data from Lüthi et al., 2008, and Jouzel et al., 2007.

# Observations: Atmospheric $O_2$ and $CO_2$ levels in earth history




after Ruben 1995, 1996, Dudley, 1998

**Zmena obsahu CO2 bola často spojená s druhovou výmenou**

## Úloha dňa je však:

**Radikálne redukovať emisie $CO_2$ s cieľom znížiť atmosférický obsah $CO_2$**

**z dnešných 420 ppm**
**na 280 ppm z pred industrialného obdobia**

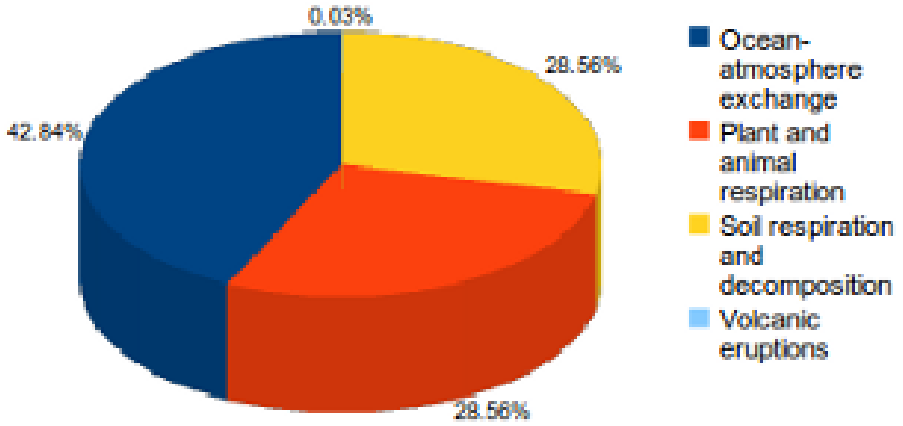
*Istanbul - Source: Daily Sabah with DHA, Jan.6,2020*

*Source: OECD The cost of air pollution, 2014*

**Poznámka:**

$CO_2$ je plyn **bez farby, chute** and **zápachu**

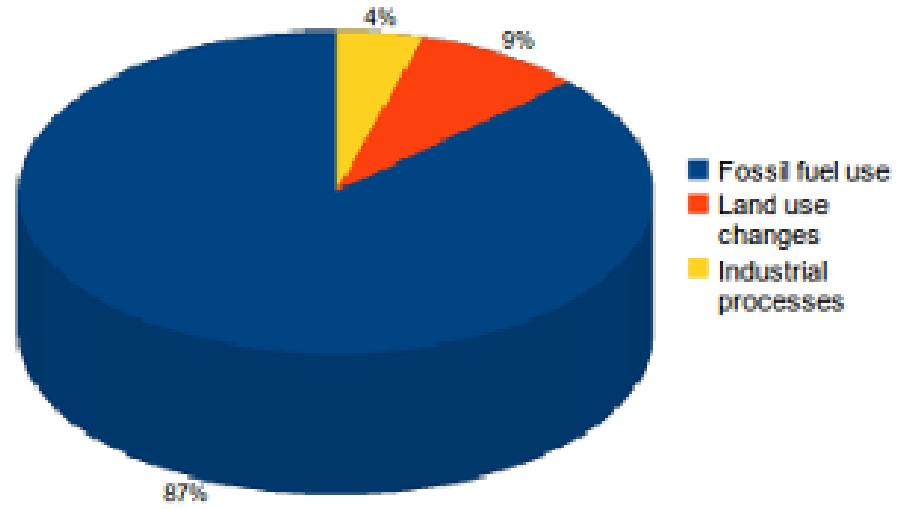
## Natural sources of carbon dioxide




| | |
|---|---|
| **natural:** | **740** |
| **Gt CO2/y** | |
| **Ocean:** | **300** |
| **Gt CO2/y** | |
| **Plants & animals:** | **220** |
| **Gt CO2/y** | |
| **Soil:** | **220** |
| **Gt CO2/y** | |

**Source:** IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, Intergovernmental Panel on Climate Change.

## Human sources of carbon dioxide



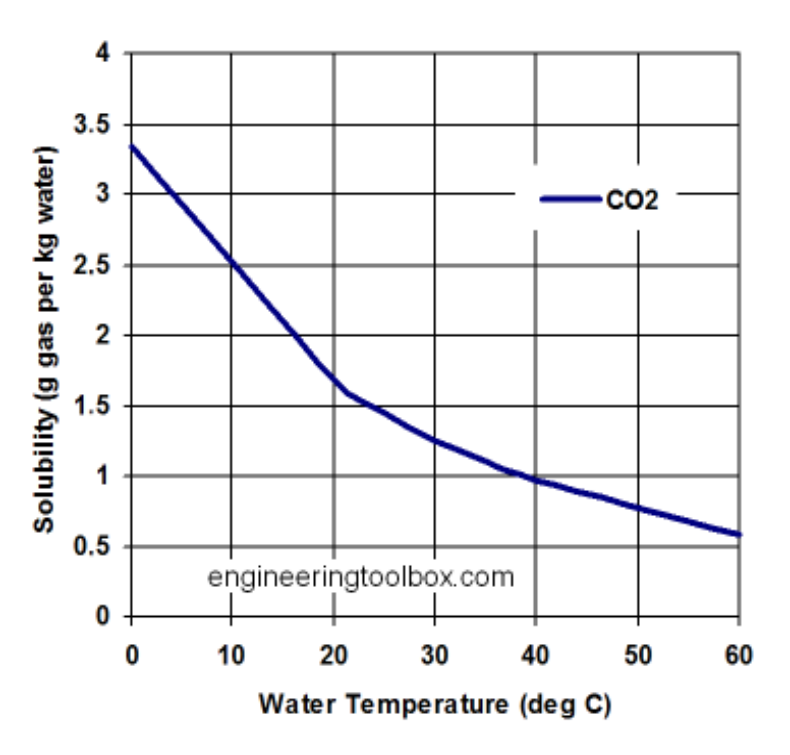

| | |
|---|---|
| **anthropogenic 2011:** | **38,1 Gt CO2/y** |
| **Fossil fuel use:** | **33,2 Gt CO2/y** |
| **Land use:** | **3,4 Gt O2/y** |
| **Industry:** | **1,5 Gt CO2/y** |

**Total 2011:** **778,1 Gt CO2/y**

**Source:** http://whatsyourimpact.org/greenhouse-gases/carbon-dioxide-emissions

**Existuje jednoznačná vzájomná súvislosť medzi prirodzenými emisiami $CO_2$ a teplotou a nie je celkom jasné čo je príčinou a čo dôsledkom:**

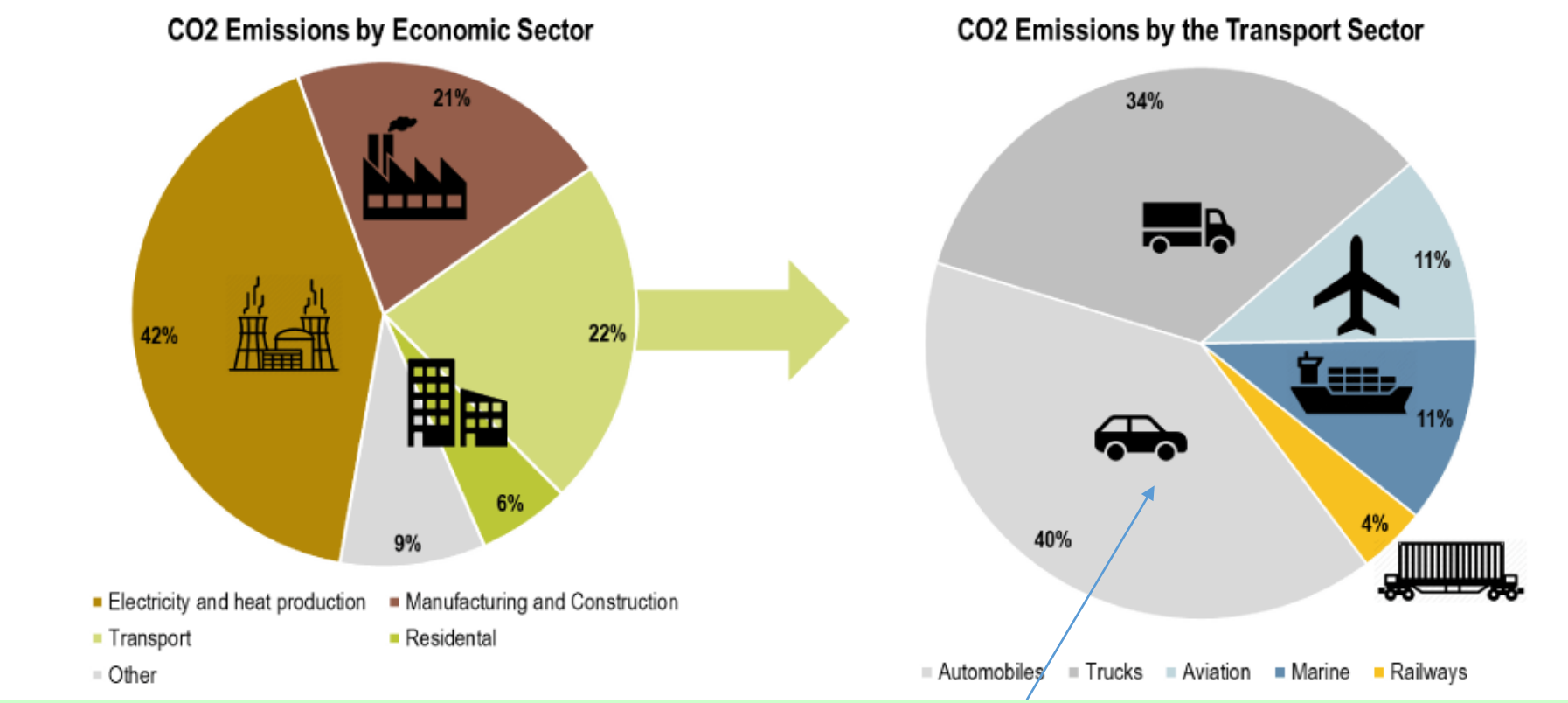
- **Zvýšená teplota uvoľňuje vyššie množstvá prírodného $CO_2$ (a tiež metánu ako silného GHG)**
- **Vyššie emisie $CO_2$ zapríčiňujú skleníkový efekt v atmosfére a znižujú tak schopnosť zemského povrchu vyžiariť teplo v infračervenom spektre, čím stúpa jeho teplota**




Source: www.engineeringtoolbox.com/gases-solubility-water-d_1148.html

**Poznámka: Znižovanie antropogénnych emisií $CO_2$ pomocou alternatívnej formy energie získavanej konverziou s menšou účinnosťou generuje vyššie množstvo zvyškového tepla, ktoré ak sa uvoľní veľmi pravdepodobne zvýši prirodzené emisie $CO_2$**

# Hlavné zdroje antropogénnych emisií CO2 (2014)

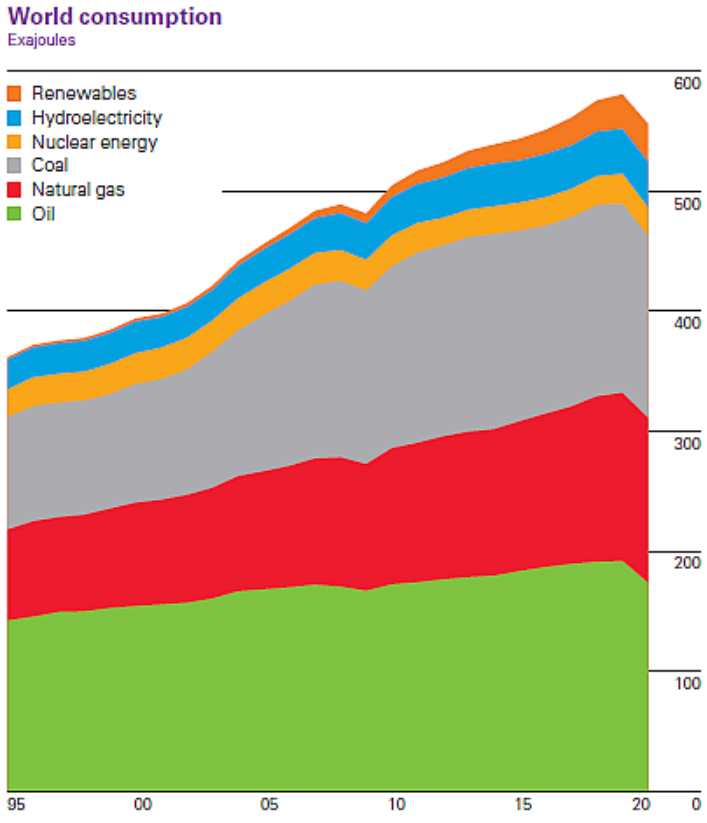


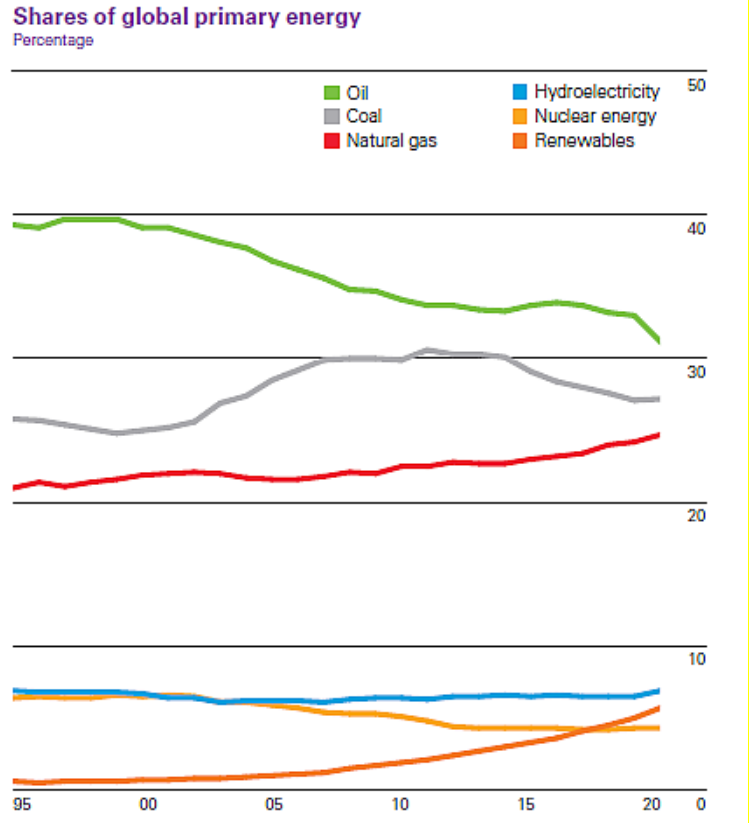

**Jediný výrobca, ktorý je drasticky penalizovaný za emisie $CO_2$**

Source: *International Energy Association. IEA and IPCC (2014) Summary for Policymakers*

**Poznámka: Väčšina globálnych $CO_2$ emisií je spôsobovaná výrobou elektrickej energie**

# Potreba primárnej energie (PE) podľa zdrojov 1995-2020 (obchodovateľné zdroje)




***PE consumption:***

***2019: 581 EJ***
***2020: 556 EJ***
***(reduction by 25 EJ i.e. 4.5 %)***

***CO2 emissions:***

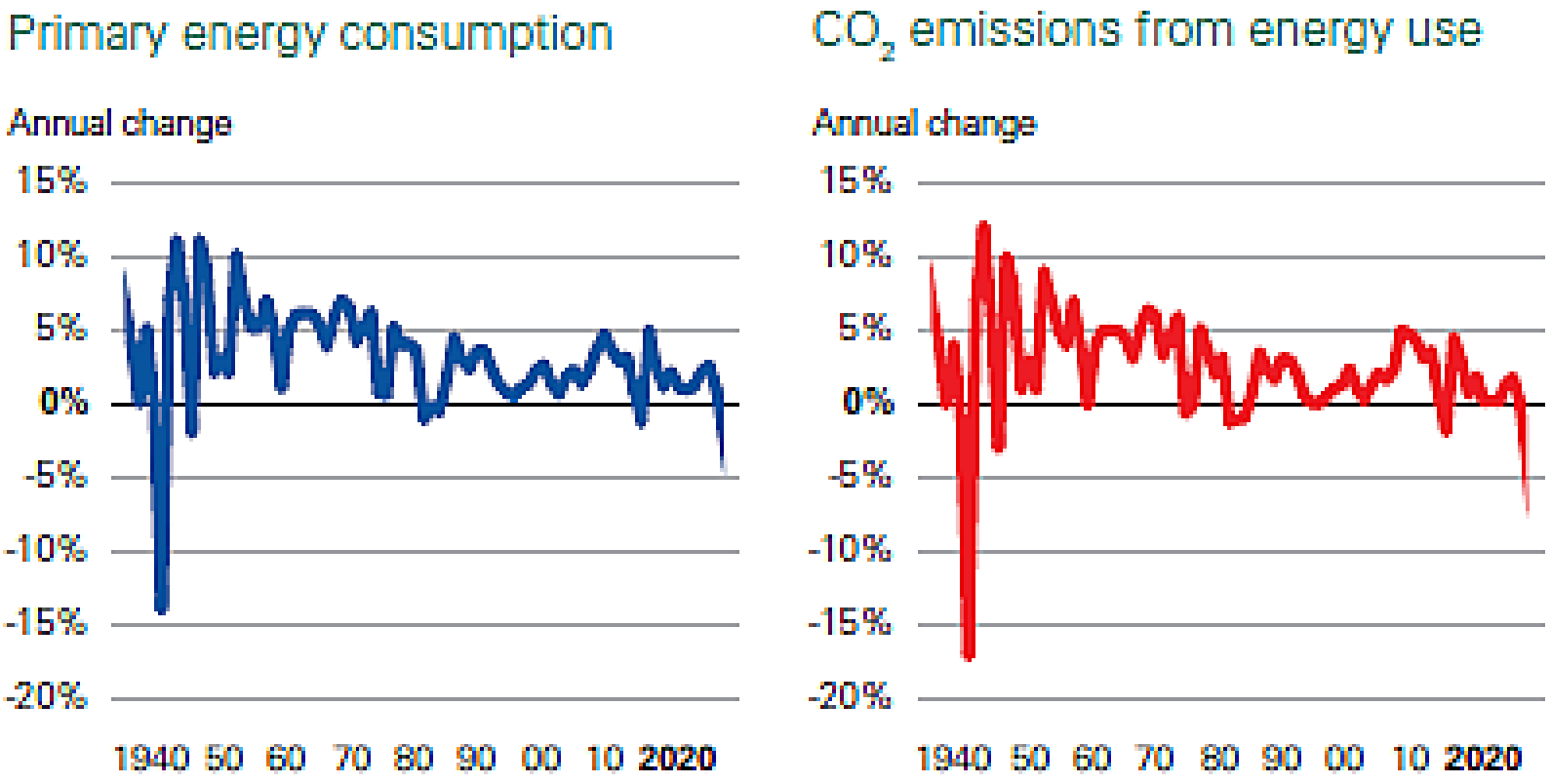
***2019: 34,4 Gt***
***2020: 32,3 Gt***
***(reduction by 2.1 Gt i.e. 6.3 %)***

***Total CO2 emissions:***
***2019: 774,4 Gt***
***2020: 772,3 Gt***
***(reduction by 2.1 Gt i.e. 0.027 %)***

*source: BP statistical review of world energy 2021*

**Poznámka: Hlavný podiel (> 80%) potrebnej energie stále predstavujú fosílne zdroje**

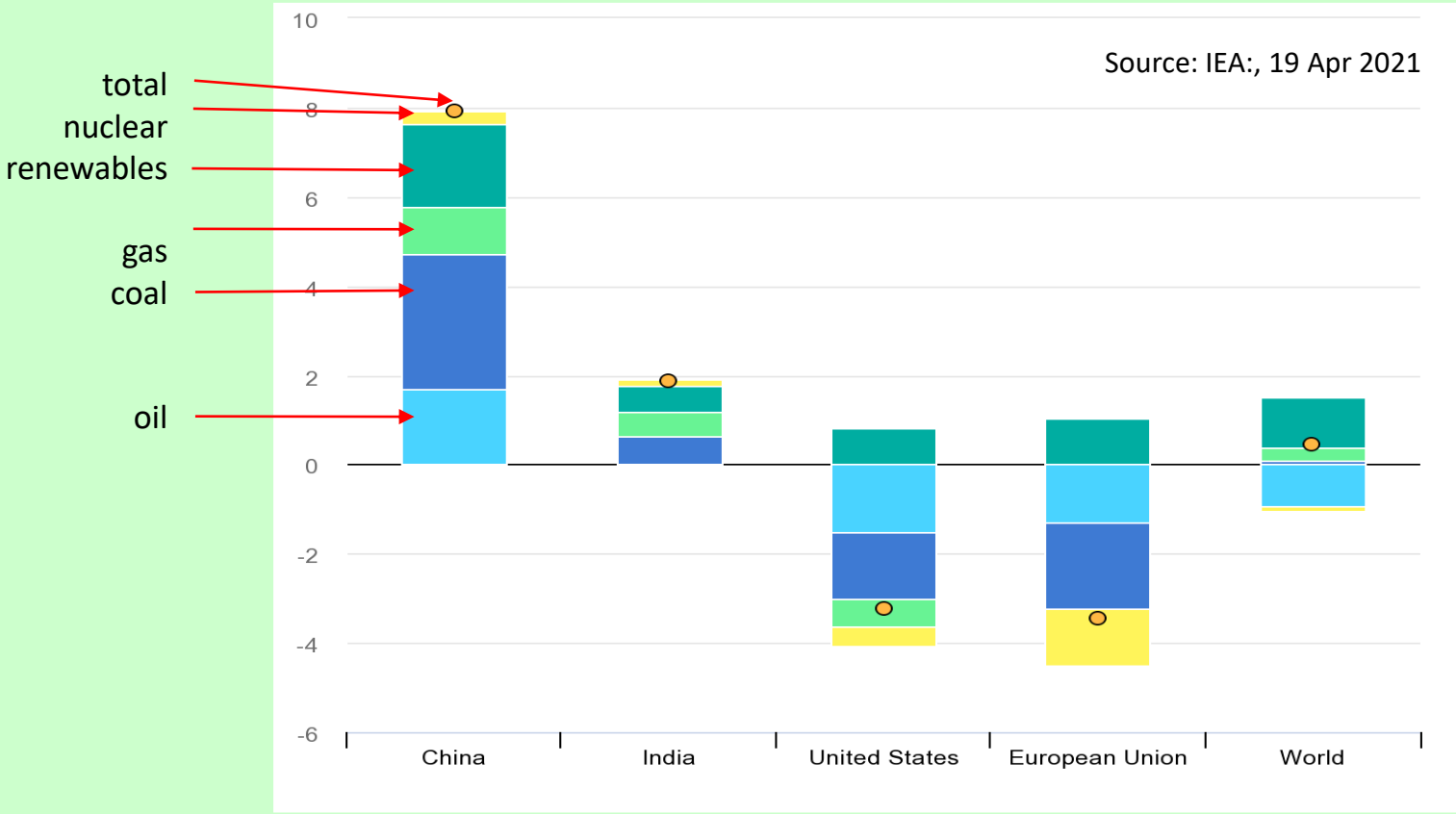
## Global energy demand and carbon emissions




*Zdroj: BP statistical review of world energy 2021*

***„Vďaka“ pandémii sa v roku 2020 dosiahla najväčšia redukcia CO2 emisií po 1945***
***Úroveň emisií však dosiahla len úroveň roka 2011, napriek 80% zníženiu leteckej dopravy a radikálnej priemyselnej recesii vďaka pandémii***

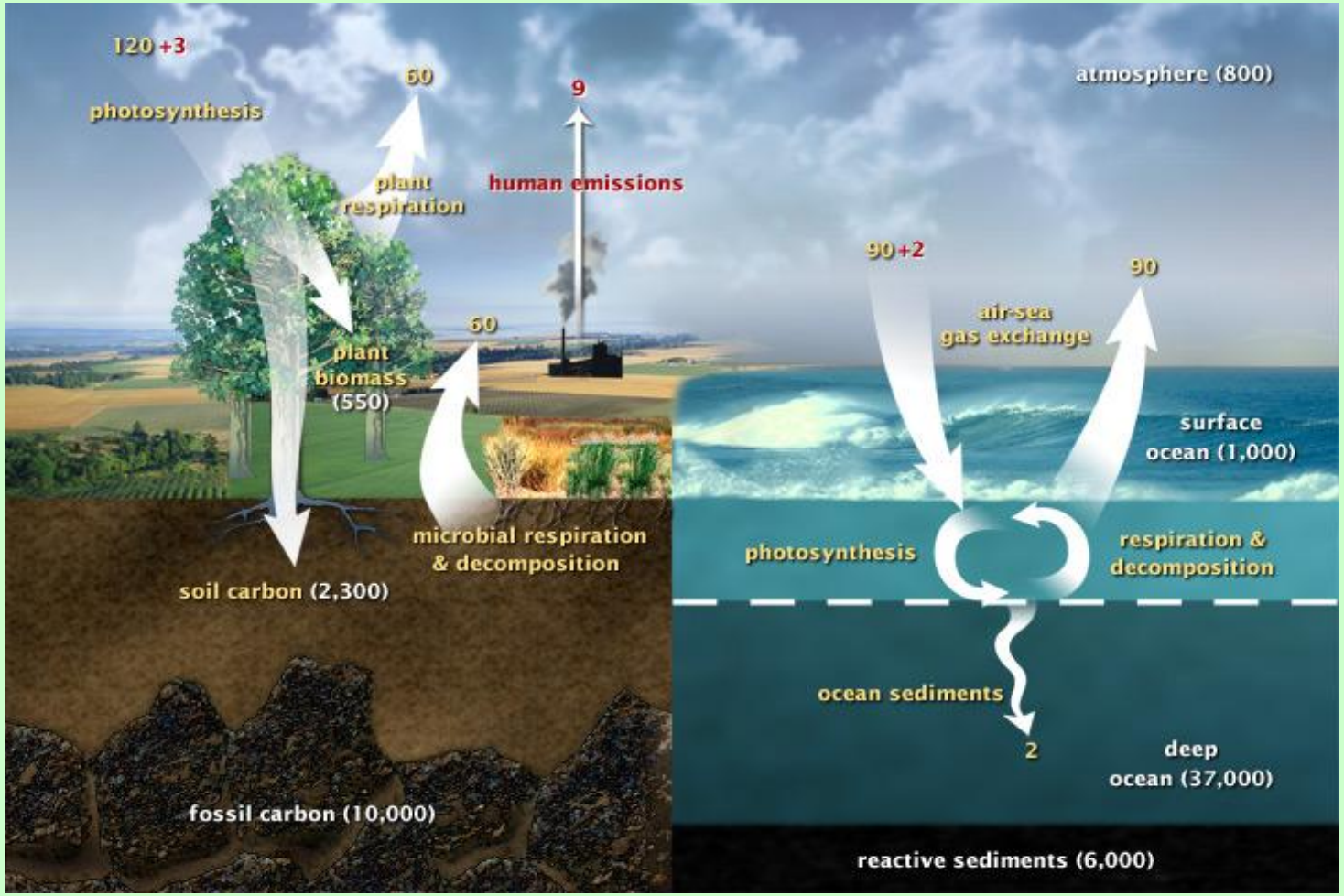
# Zmena potreby zdrojov primárnej energie (PE) podľa regiónov v roku 2021 v porovnaním s pred pandemickým rokom 2019 [%]




**Znížená potreba uhlia v US a EU po pandémii bola kompletne nahradená spotrebou uhlia v Číne a Indii; celková globálna potreba PE sa oproti roku 2019 zvýšila. Z fosílnych palív sa globálne významnejšie znížila len potreba ropy.**

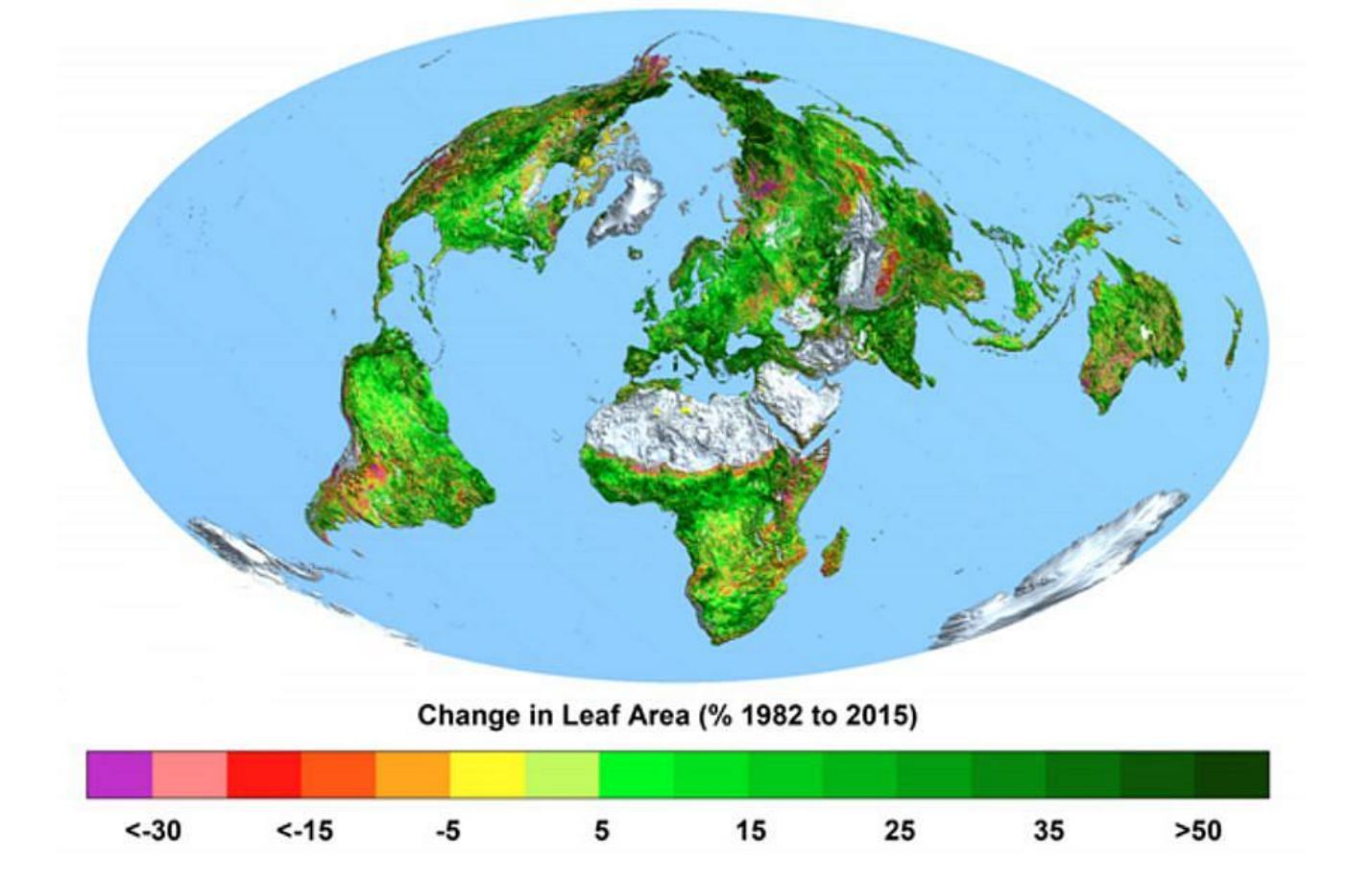
# Kolobeh uhlíka v prírode a efekt cicilizačných emisií

https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle



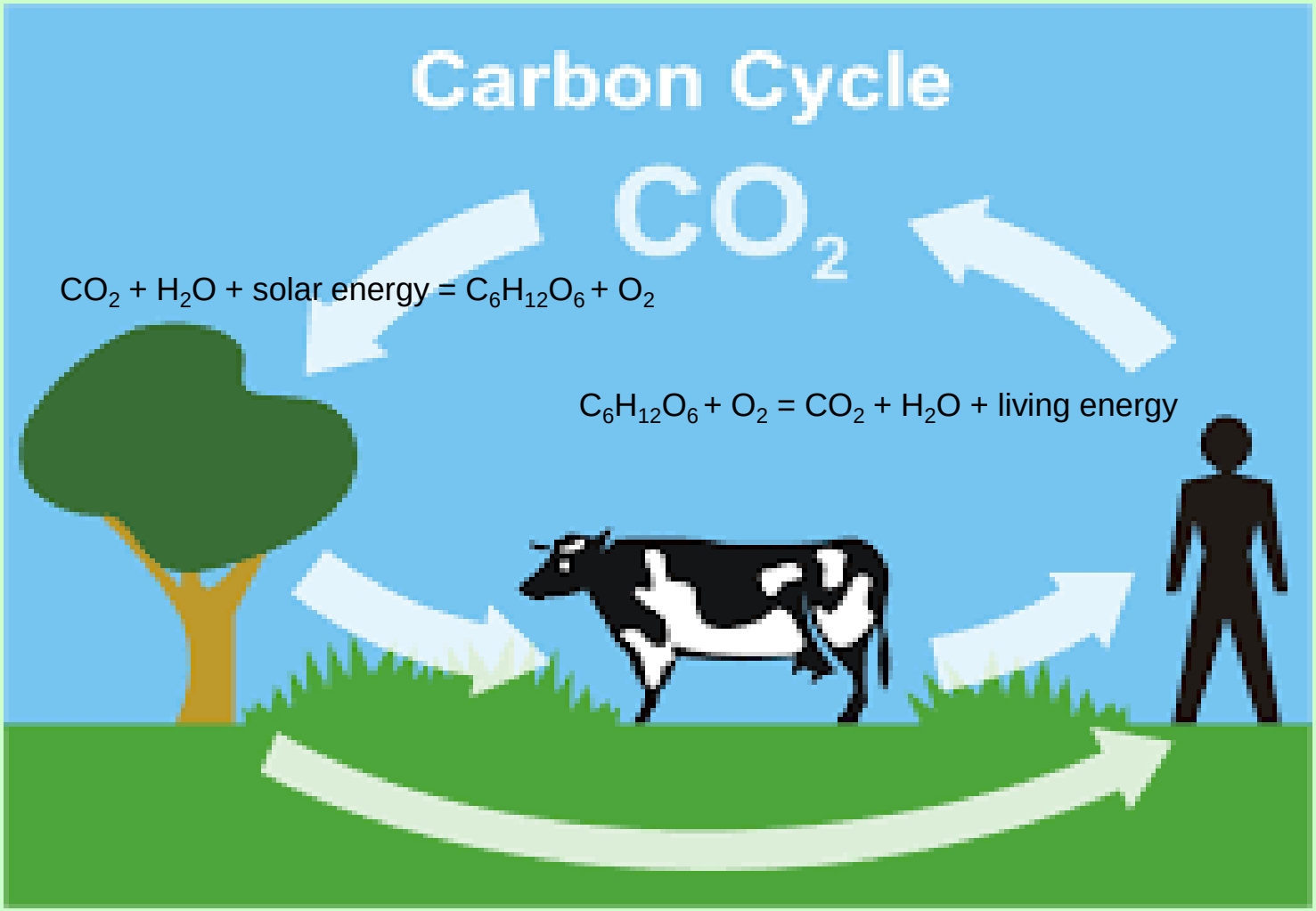

**Príroda je dnes schopná absorbovať ~ 5 Gt/y z 9 Gt/y civilizačných emisií uhlíka**

# Zvýšená teplota a obsah CO2 podporujú rast zelene na planéte




***Global green leaf area increase 1982-2015: 4,1 %***

*Source:* Zhu et al., 2016. Greening of the Earth and its Drivers. Nature Climate Change, doi:10.1038/nclimate3004



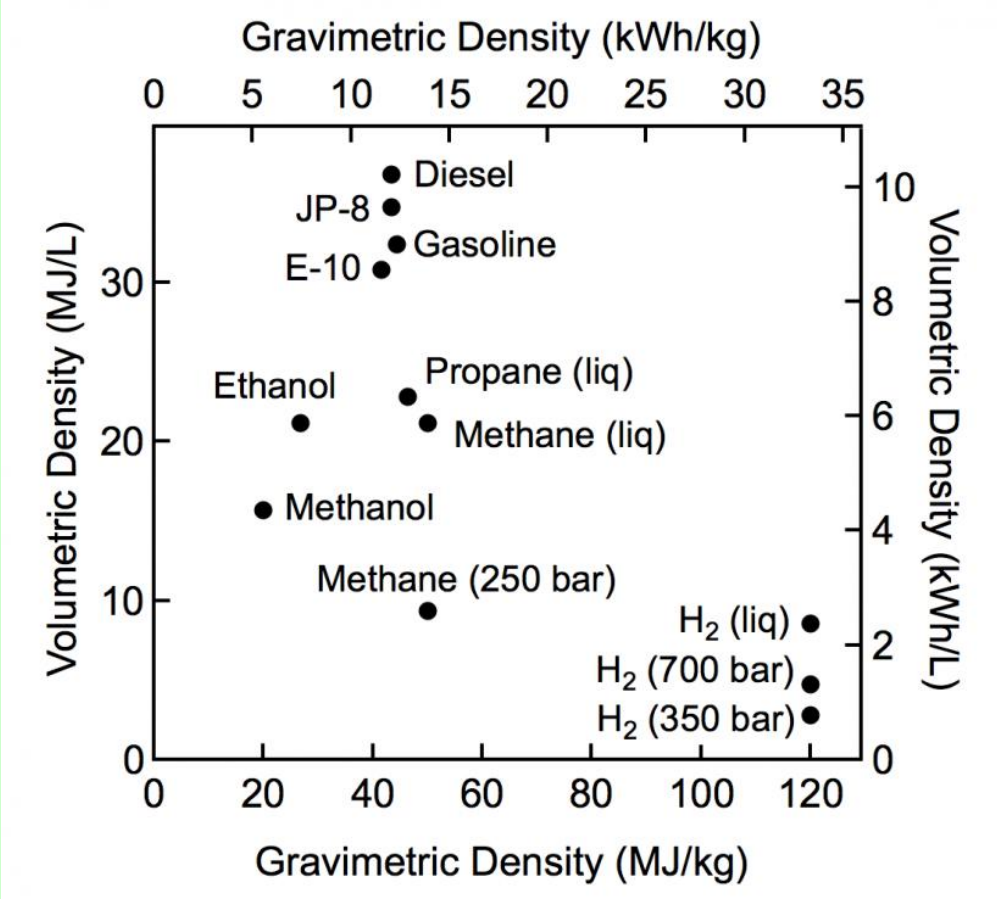

**Ľudská populácia** (7.5 mld.) **potrebuje ~23 EJ/year energie v potrave aby prežila** (2000 kcal/day, 8,4MJ/day)

# Paradox človeka ako jediného živého tvora na Zemi

- Na základné prežitie (stravu) človek potrebuje približne **20-25 EJ/y**, ale kvôli civilizačnému komfortu konverguje viac ako **550 EJ/y** primárnej energie, väčšinou z fosílnych palív (~80%)
- Počas posledných 150 rokov človek uvoľnil obrovské množstvo energie, ktorá by inak ostala viazaná v chemickej väzbe uhľovodíkov
- **Väčšina tejto energie sa uvoľnila ako teplo**, ktoré prispieva narušenie dlhodobej tepelnej rovnováhy na Zemi, zvýšená teplota čiastočne prispieva aj prirodzenému uvoľňovaniu $CO_2$
- Teplo uvoľňované ľudstvom v súčasnosti nie je zanedbateľné : je na úrovni ~40% tepelného toku geotermálneho tepla cez zemskú kôru (~1500 EJ, 47 ± 2 TW [1])
- Okrem toho z fosílnych palív sa produkuje $CO_2$, ktoré zhoršuje schopnosť povrcu zeme toto dodatočné teplo vyžiariť do okolitého vesmíru
- V skutočnosti **2/3 transformovanej energie chemickej väzby sa uvoľní zbytočne** ako nevyužívané teplo neefektívnej konverzie

[1] *Source:* J. H. Davies and D. R. Davies. Earth's surface heat flux. Solid Earth, 1, 5–24, 2010. www.solid-earth.net/1/5/2010/

# Hustota energie v potenciálnych palivách




source: https://www.energy.gov/

| Fuel | kWh/kg | kWh/liter |
|---|---|---|
| Diesel | 12.5 | 10.6 |
| Petrol/gasoline | 12.8 | 9.5 |
| Liquefied petroleum gas (LPG) | 12.8 | 7.2 |
| CNG compressed natural gas | 14.7 | 2.5 |
| Ethanol | 7.5 | 5.9 |
| Methanol ($CH_3OH$) | 5.6 | 4.4 |
| Dimethyl ether - DME ($CH_3OCH_3$) | 8.1 | 5.4 |
| Hydrogen ($H_2$) 700 bar | 33.4 | 1.5 |
| Hydrogen ($H_2$) 700 bar with tank* | 1.8 | 1.5 |
| electric battery Tesla M3 82 kWh | 0.171 | 0.2 |
| Uranium enriched to 3.5%, LWR | 1083 000 | |

** The weight of tank for 5kg hydrogen 700 bar in Toyota Mirai is 87,5 kg*

# Primárna energia potrebná na 500 km jazdy ~1800 kg auta

| Fuel | amount of fuel needed to drive 500 km | conversion efficiency in car | kWh in used fuel | primary energy needed kWh | overall efficiency |
|---|---|---|---|---|---|
| **diesel** | 35 liters | 24.3% | 371 | 436 | 20.6% |
| **petrol/gasoline** | 40 liters | 23.7% | 380 | 447 | 20.1% |
| **liquefied petroleum gas (LPG)** | 40 liters | 31.3% | 288 | 411 | 21.9% |
| **CNG compressed natural gas** | 21.8 kg | 28.1% | 320 | 377 | **23.9%** |
| **hydrogen (H2) 700 bar** | 5 kg | 54.0% | 167 | 1310 | 6.9% |
| **average electric battery** | 105 kWh | 85.0% | 105 | 412 | 21.9% |

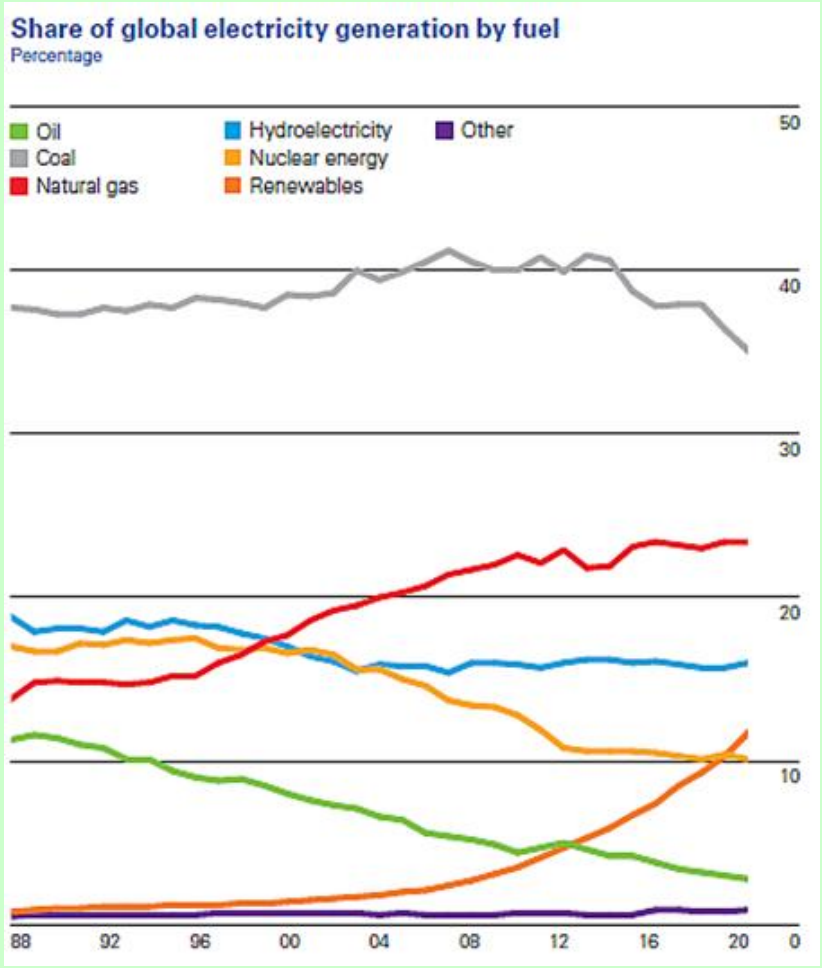
**Assumptions*:**

- **actual mechanical energy needed: 90 kWh**
- **efficiency calculation for PE needs:**
  - ***electricity production: 30 %***
  - ***battery charging: 85%***
  - ***gas compression: 85%***
  - ***manufacturing of petrol/diesel: 85%***

| Fuel | kWh/kg | kWh/liter |
|---|---|---|
| Diesel | 12.5 | 10.6 |
| Petrol/gasoline | 12.8 | 9.5 |
| Liquefied petroleum gas (LPG) | 12.8 | 7.2 |
| CNG compressed natural gas | 14.7 | 2.5 |
| Hydrogen ($H_2$) 700 bar | 33.4 | 1.5 |
| electric battery Tesla M3 82 kWh | 0.171 | 0.2 |

***Energy for raw material extraction and building of transport, production and filling/charging infrastructure is not included***

# Globálna výroba elektriny 1988 - 2020 podľa zdrojov primárnej energie

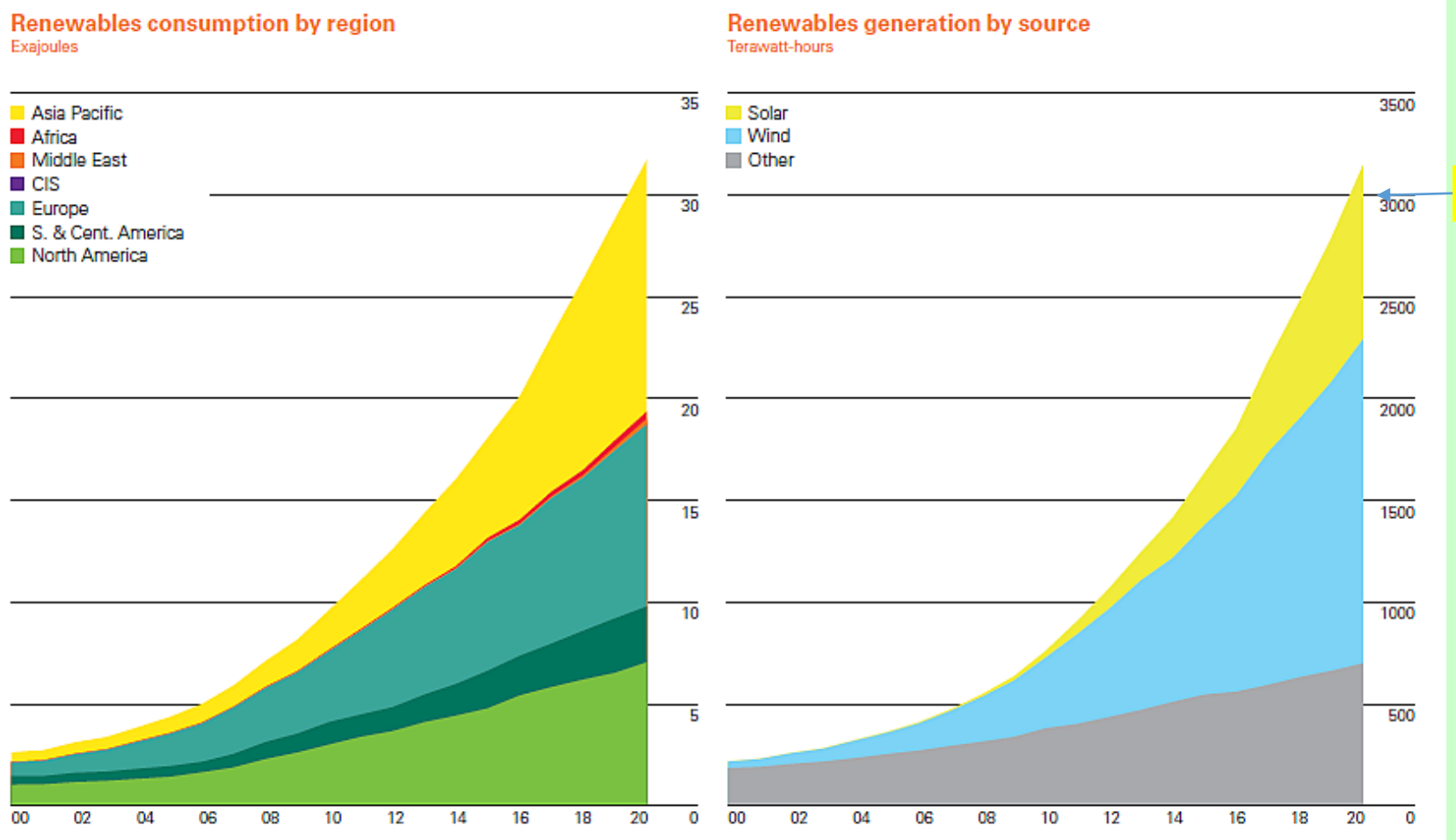



*Source: BP statistical review of world energy 2021*

**Globálna produkcia elektriny stále vyžaduje viac ako 60% fosílnych palív (uhlie. plyn, ropa)**
**Účinnosť konverzie z týchto zdrojov je navyše pomerne nízka ~ 30%**

# Produkcia a spotreba energie z OZE 1988 – 2020

## Účinnosť využitia je ~31%




*Source: BP statistical review of world energy 2021*

Fundamentálna zmena neudržateľnej energetickej stratégie ľudstva je preto nevyhnutná :

Radikálne zníženie spotreby **primárnej energie** (konverzie) treba zabezpečiť:

- Zastavením energeticky náročných aktivít, ktoré civilizácia nepotrebuje
- Zamerať sa na procesy ktoré produkujú minimálne odpadové teplo
- Zvýšiť účinnosť konverzných proces
- Zachytávať, uskladňovať a transportovať odpadové teplo aby sa dalo použiť tam kde je teplo potrebné, namiesto výroby ďalšieho tepla
- Snažiť sa prebytočnú nevyužívanú energiu vložiť do naspäť do syntetického paliva

**Neexistuje žiadna alternatívna primárna energia,** ktorú by si ľudstvo mohlo len tak zobrať na pokrytie svojho komfortu, bez následkov na prirodzený kolobeh procesov na Zemi, ustálených dlhoročným vývojom

**Radikálna redukcia potreby primárnej energie na civilizačný komfort je nevyhnutná!!!**

# Čo nerobiť? (nevyužívať energiu na nepotrebné veci)

**Okamžite prestať s procesmi ktoré nie sú k životu potrebné**

**Príklad - turfová tráva v USA :**

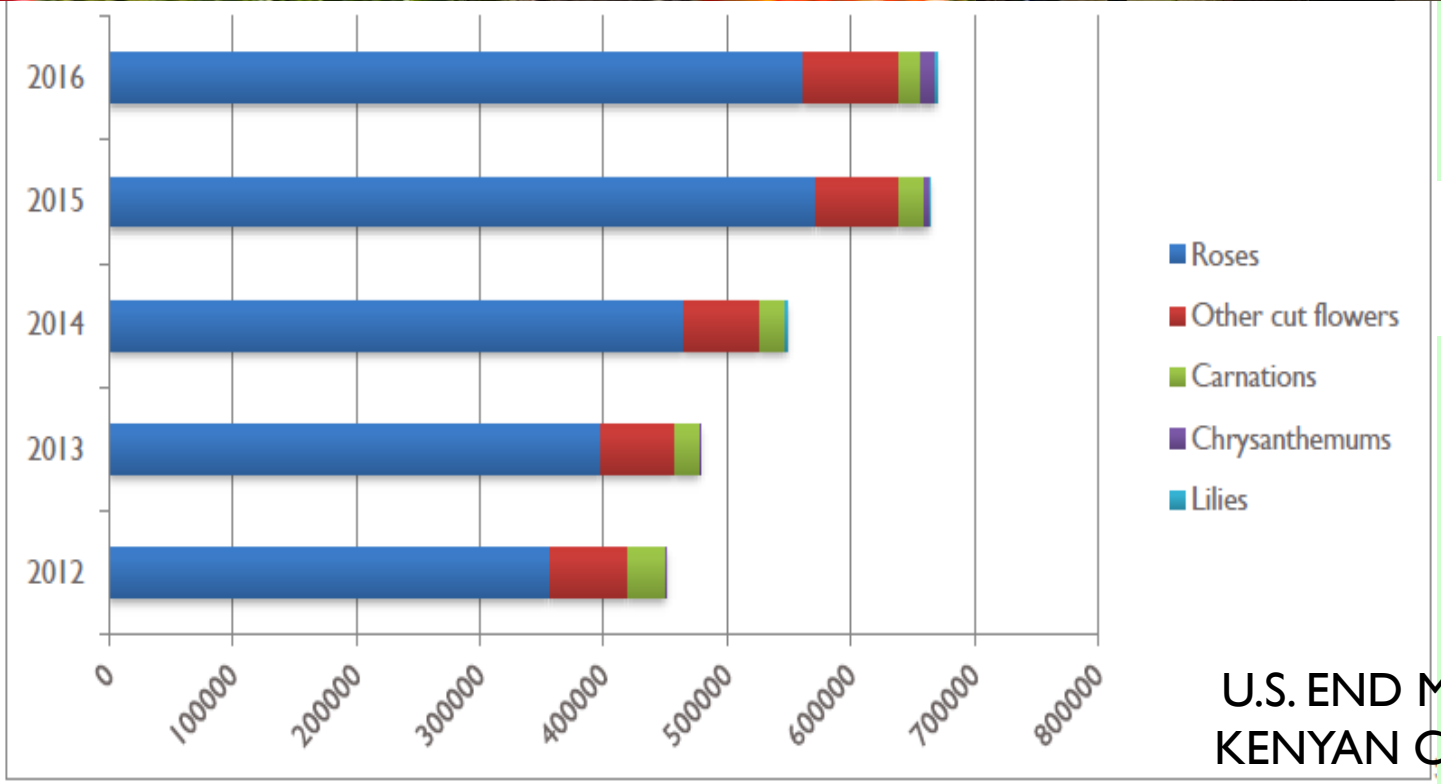
- 160 tis.km2,°
- 23% mestskej zástavby
- 10x viac pesticídov a hnojív ako potravinárske plodiny
- 30-60% pitnej vody na zalievanie
- priemerne sa kosí 22 x ročne
- minimálna biodiverzita, zánik priestoru pre dôležitý hmyz
- vyliate palivo 64 mil. litrov ročne
- pomer CO2 spotrebovaného a celkovo vylúčeného 1:4

- **Celkový biznis 60 mld. USD-ročne**
- **Účel: je to vraj pekné**

*by Lenore Hitchler*

# Čo nerobiť? (nevyužívať energiu na nepotrebné veci)

## Okamžite prestať s procesmi ktoré nie sú k životu potrebné



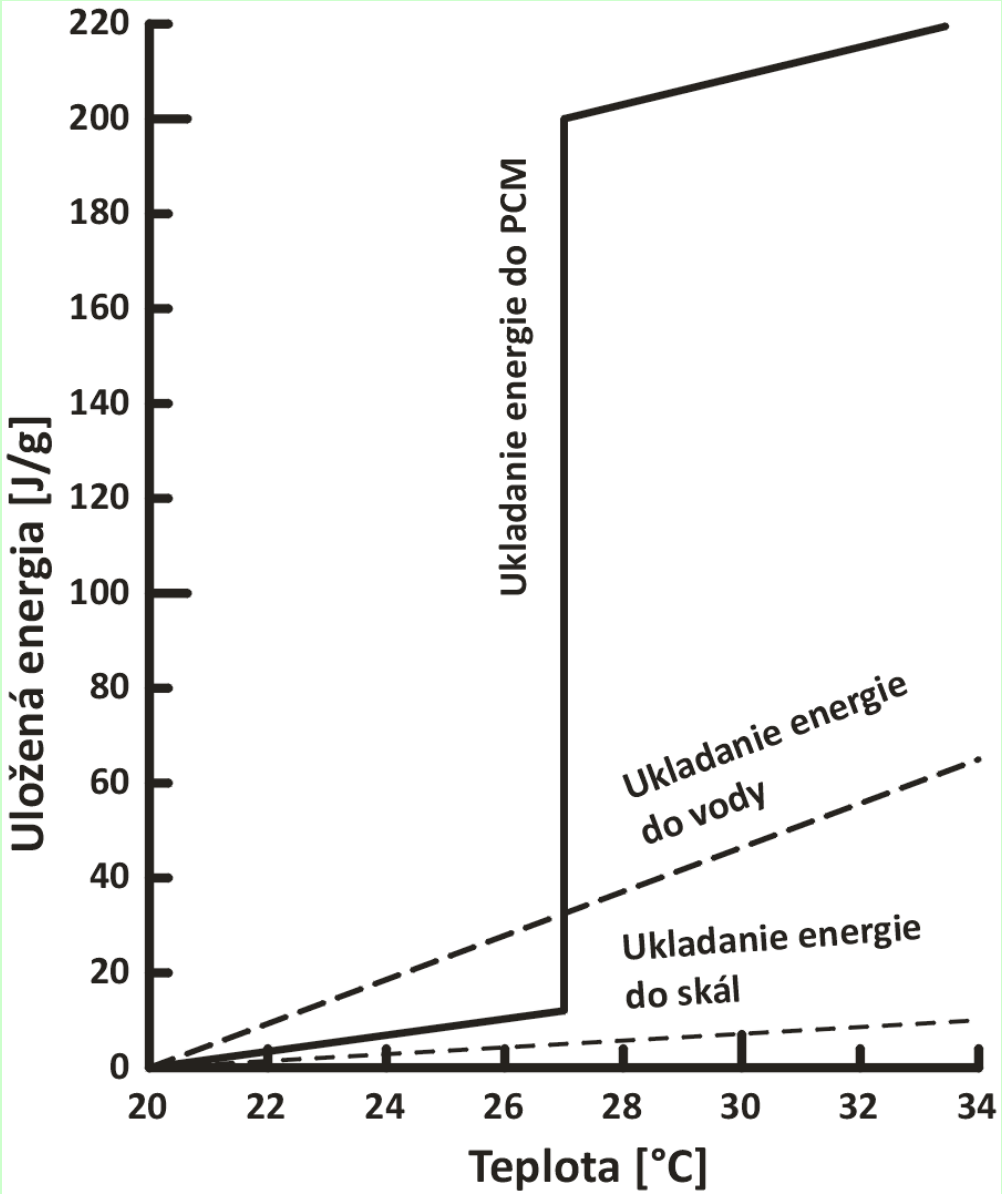

ITC UN COMTRADE statistics, 2017

USAID FROM THE AMERICAN PEOPLE

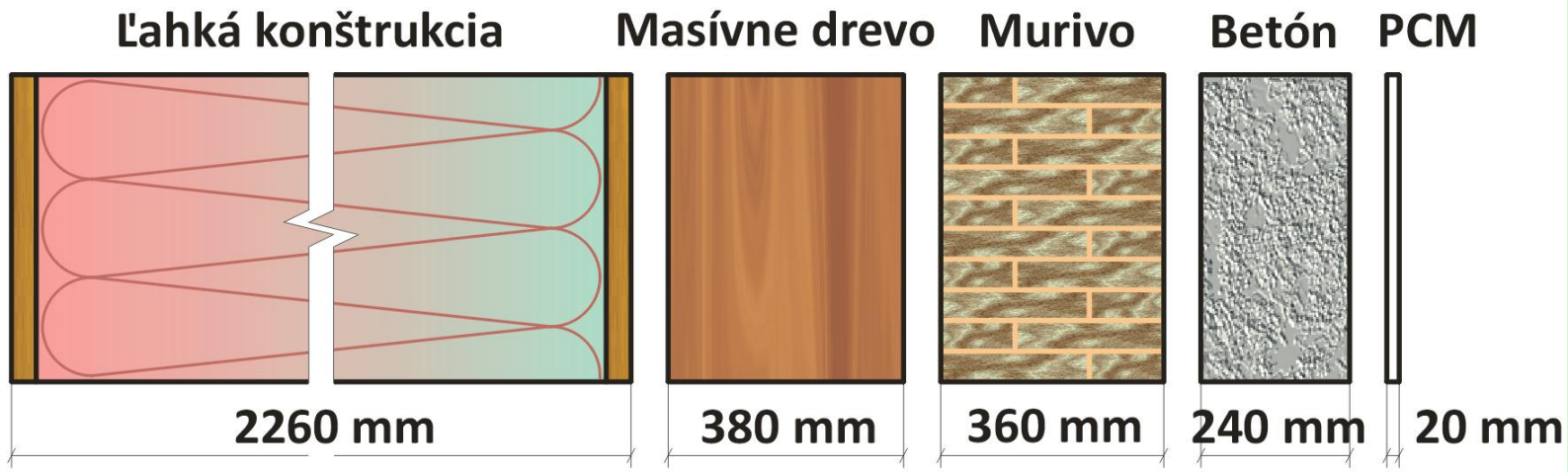
U.S. END MARKET ANALYSIS FOR KENYAN CUT FLOWERS

December 2017

# Možnosti ukladania tepla

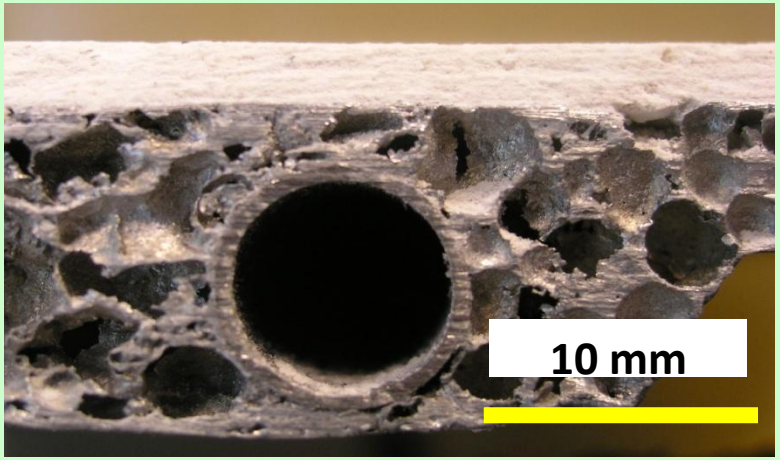


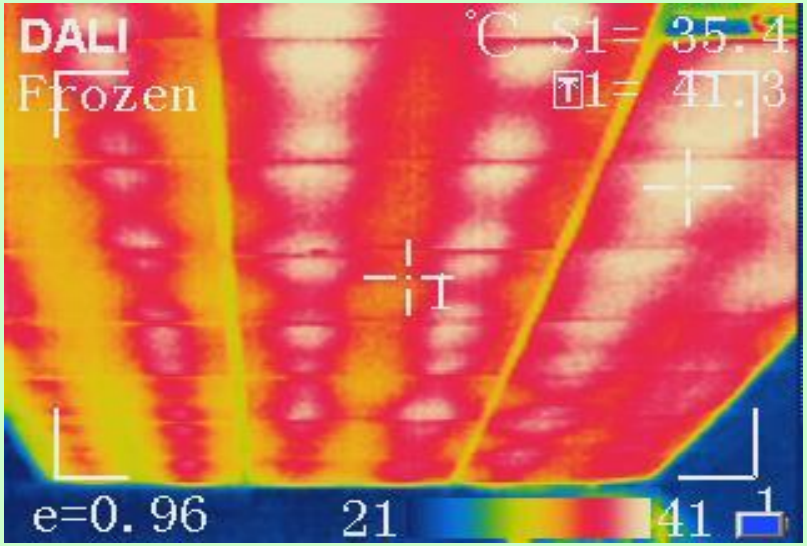
# Možnosti ukladania tepla

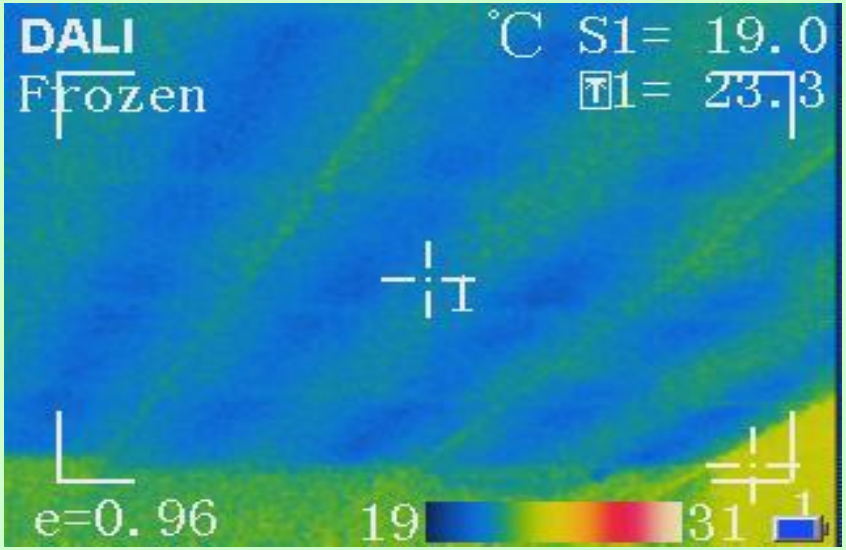



Hrúbka potrebná na uloženie rovnakého množstva tepla

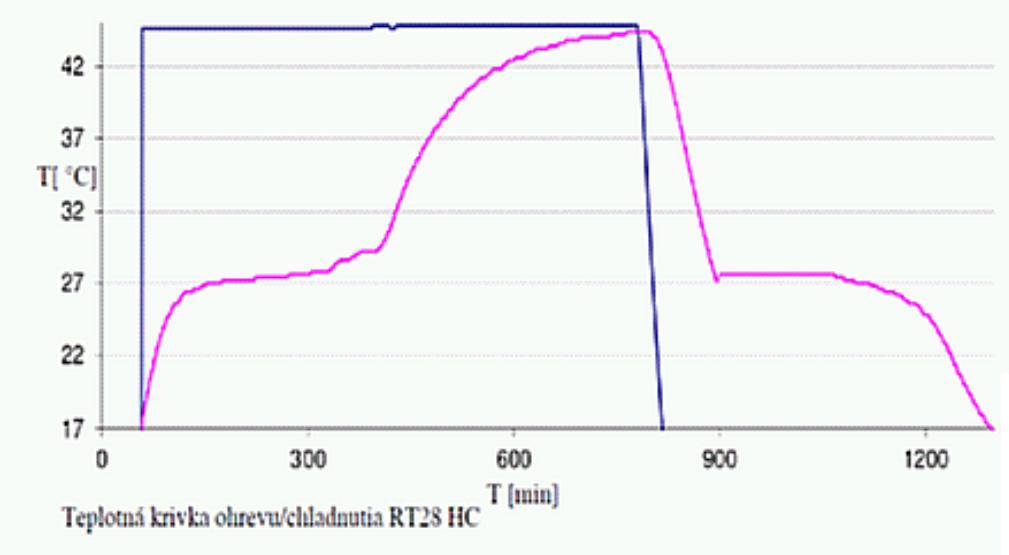
# Nová inovácia – radiačné stropné panely na vykurovanie a chladenie



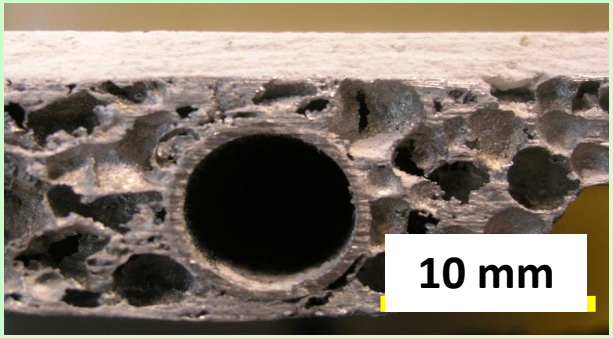


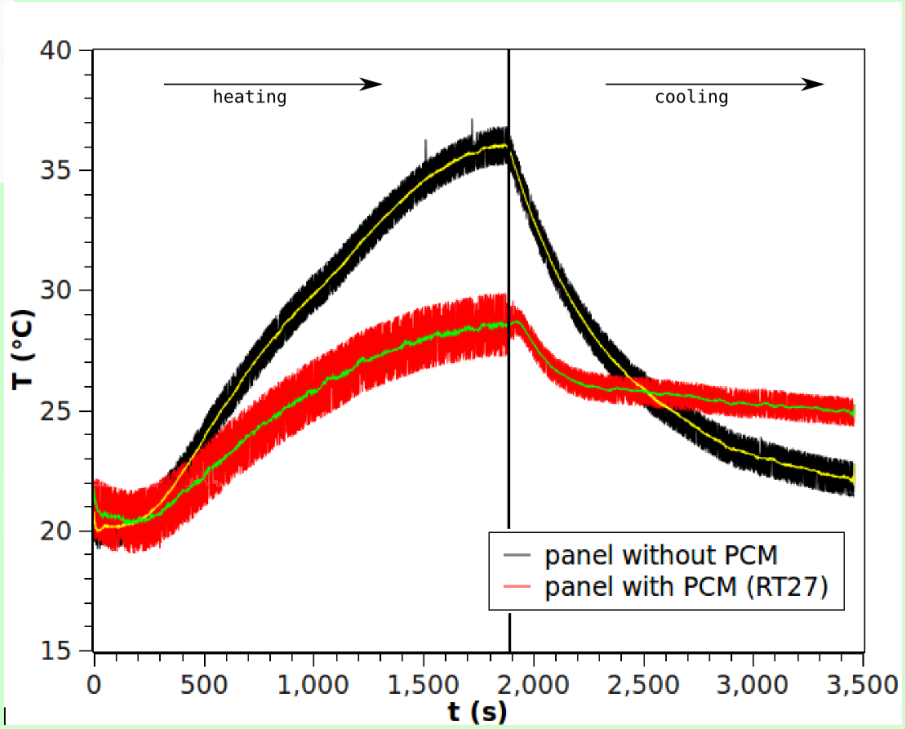
# Hliníková pena na uskladnenie tepla pomocou PCM (80 % voľný objem pre PCM)



Teplotná krivka ohrevu/chladnutia RT28 HC



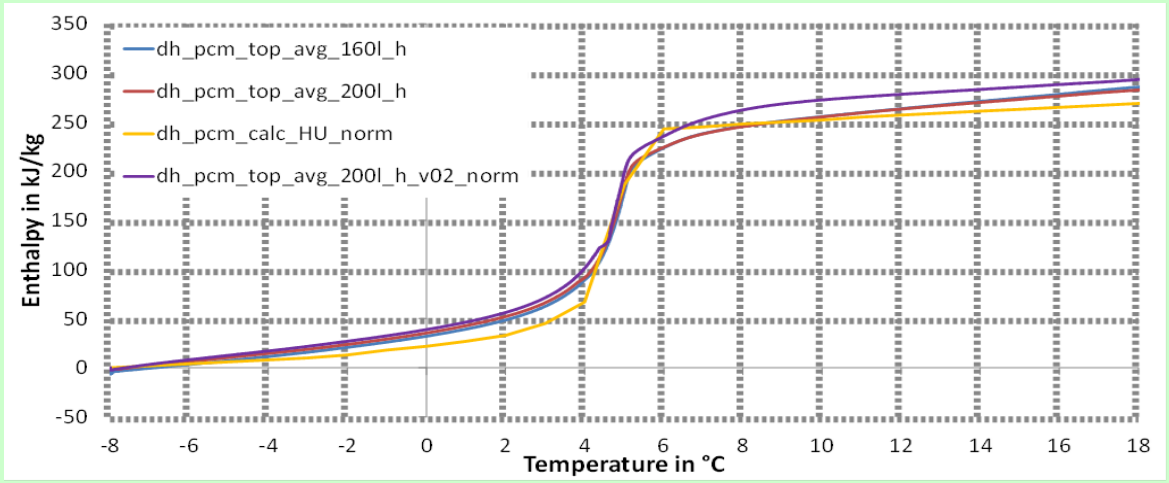

PCM: RT27 Rubitherm

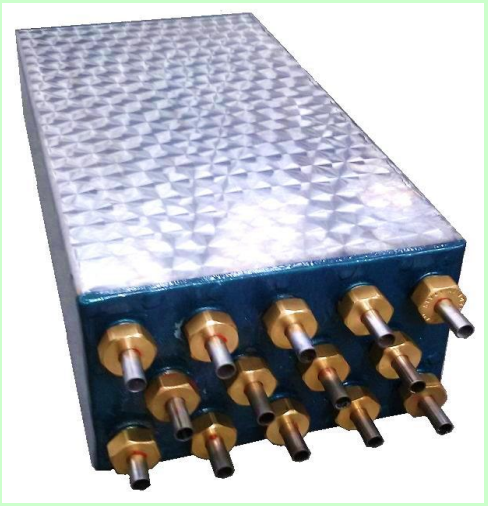


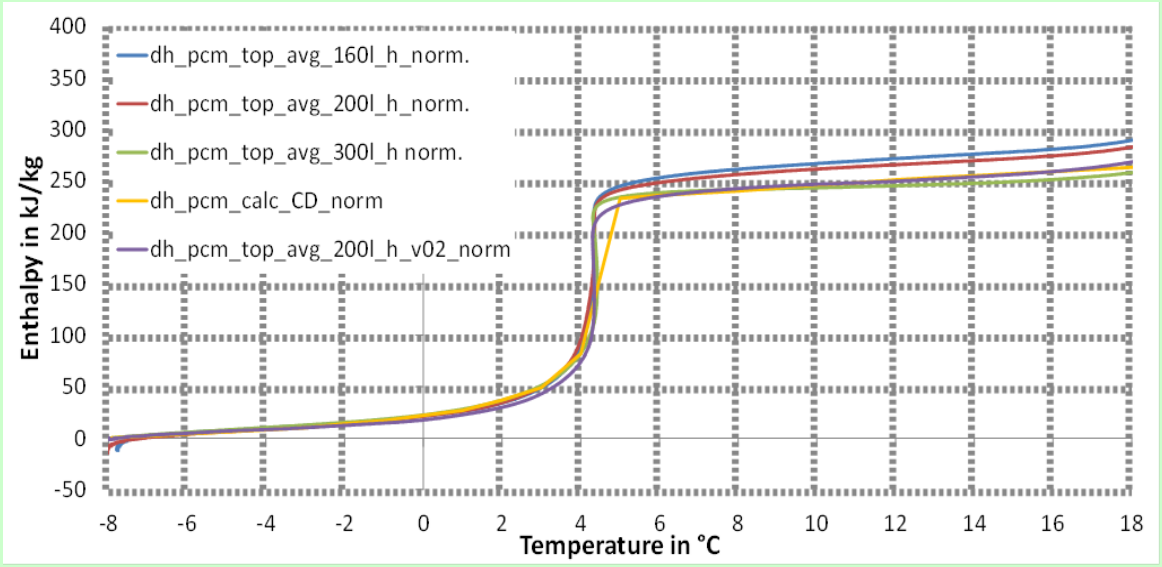

Vzorka : 200x100 mm, 50g, PCM: RT27 Rubitherm, 30 g

# Al pena na uskladňovanie tepla

## PCM RT5HC





# Ideálne auto budúcnosti (spája výhody elektromobilu a spaľovacieho motora)

**Koncept:**

- ✓ Electrický pohon (vysoká účinnosť, rekuprerácia brzdnej energie), jednoduchšie riadenie, automatizácia, menšie nároky na údržbu
- ✓ Malá batéria (do 10 kWh) – menšie nároky na kritické suroviny, menšia hmotnosť, objem a nižšia cena
- ✓ Electrický generátor v aute na princípe spaľovacieho motora (turbíny), ktorý pracuje s vysokou účinnosťou pri optimálnych otáčkach a krútiacom momente len vtedy keď treba nabíjať batériu (minimálna spotreba paliva)

**Auto budúcnosti by alo plniť aj iné funkcie ako len prepravovať osoby a náklad (podobne ako smartfón):**

**Navrhovaná opcia, ktorá je technicky, časovo a cenovo nenáročná** :

- ✓ Zachytávanie odpadového tepla do vody a jeho využitie na kúrenie – funkcia mobilného ohrievača vody*
- ✓ Potrebné je vybudovať verejnú infraštruktúru na zber horúcej vody a jej využitie pri vykurovaní (možno primerane využiť existujúcu infraštruktúru lokálnych teplární a alebo výhrevní)

**20 kWh elektriny je potrebnej na 100 km → pri účinnosti 50% jej výroby v aute sú potrebné 4 l nafty (~40 kWh) z toho → 20 kWh je odpadové teplo (50%) využiteľné na ohrev vody → stačí to na ohrev 250 litrov vody na 95°C počas jazdy na vzdialenosť 100 km – tým sa šetrí 20-25 kWh energie plynu pri súčasnom vykurovaní budov*

# Magnesium - “clean” fuel for combustion engine

Magnesium can be burned in a controlled and completely emission-free manner with water.
Its thermal decomposition produces hydrogen, which can be exothermically converted back to water:

$$Mg + H_2O = MgO + H_2\ (g) + 382.2\ kJ / mol\ Mg\ (at\ 1000\ ^\circ C)$$
$$2H_2\ (g) + O2\ (g) = 2H_2O + 255\ kJ / mol\ (at\ 1000\ ^\circ C)$$

Totally, it is theoretically possible to obtain about 6.9 kWh of energy from 1 kg of Mg, resp. 12.4 kWh from 1 liter of Mg
(1 liter of Mg emits a comparable amount of energy as diesel)

**100 kg Mg tank would provide energy for 2000 km.**

Slovakia has huge resources (5$^{th}$ in the world) on magnesite ($MgCO_3$) that can be used as raw material in Mg production

# Magnesium - “clean” fuel for combustion engine

## Recycling of used fuel

The residues from burning Mg with water are MgO resp. $Mg(OH)_2$
The recycling process is similar to well proven production-certified Norsk Hydro process for Mg production:

1. dissolution of residues in HCl:

$$MgO + 2HCl = MgCl_2 + H_2O + heat$$

$$or\ Mg(OH)_2 + 2HCl = MgCl_2 + 2H_2O + heat$$

2. subsequent dehydration to $MgCl_2$ anhydride:

$$MgCl_2\,6\,H_2O + heat = MgCl_2 + 6H_2O$$

3. $MgCl_2$ to Mg electrolysis:

$$MgCl_2 + electricity = Mg + Cl_2 + heat$$

4. Synthesis of $Cl_2$ to HCl for dissolution process:

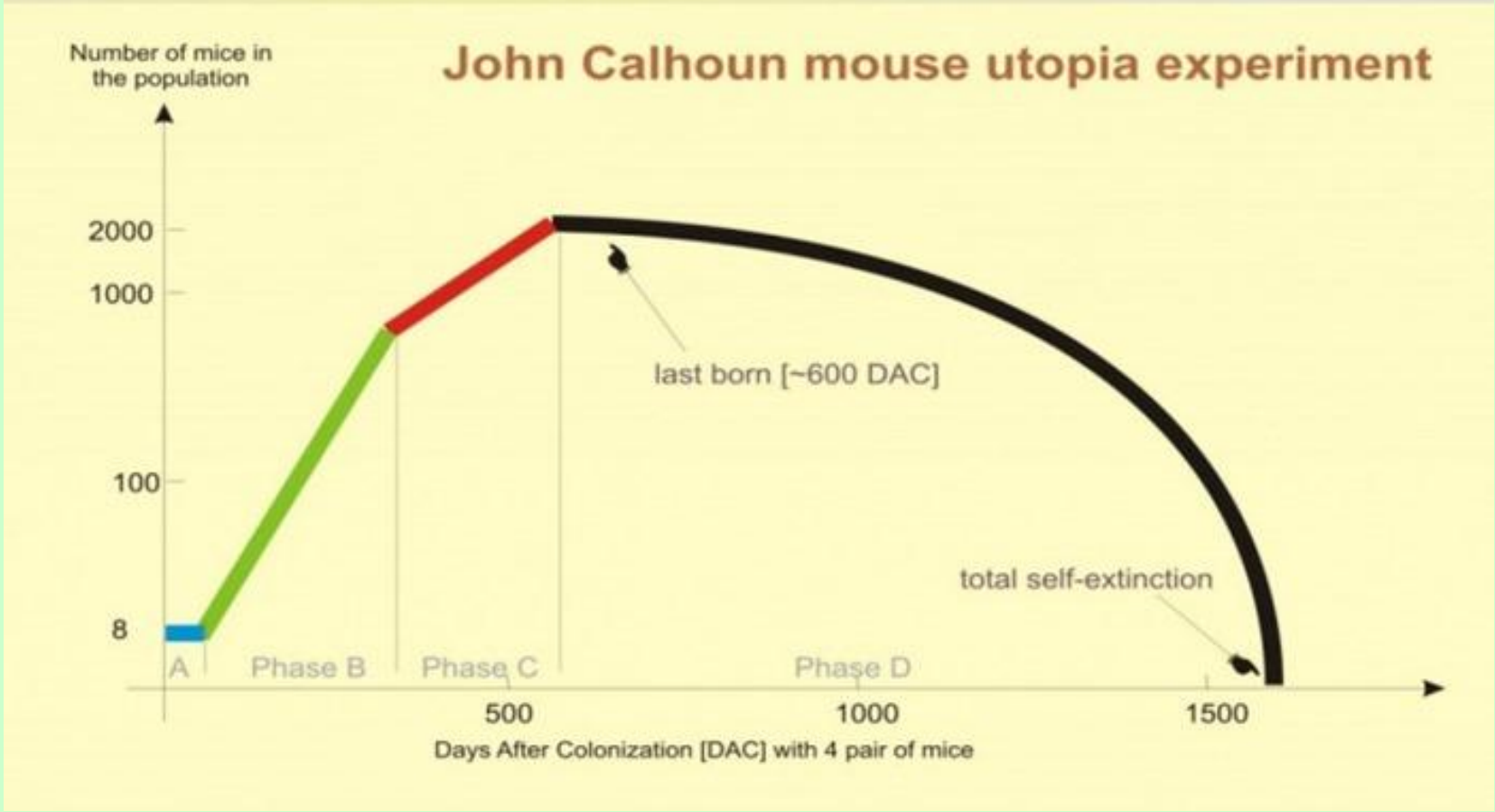
$$Cl_2 + H_2 = 2HCl$$

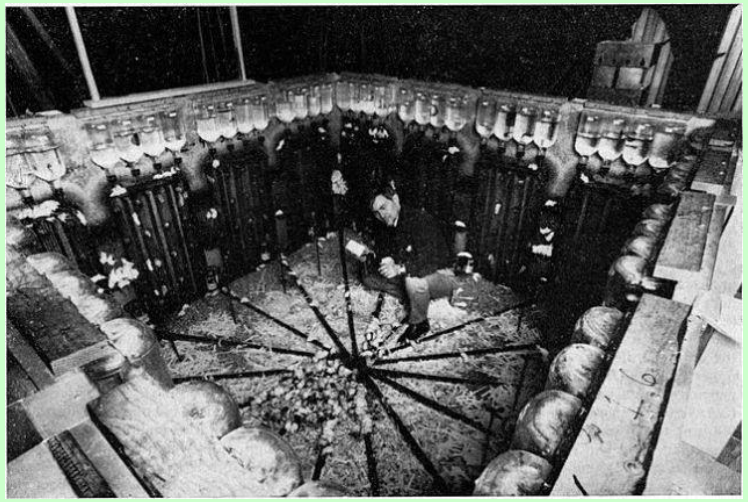
- No battery
- Easy charging / filling
- No critical materials, Mg and water are fully recycled
- The only power source is excessive electricity (e.g. from renewables)
- Adjusting of electrolysis according to availability of electricity is possible (E-net stabilization/regulation)

Chlorine is in a closed loop with negligible losses and, apart from a small amount of refining additives, no additional material is needed, only the electricity that is put into Mg by the process. When using waste heat from electrolysis and solidification of molten Mg, estimated total energy demand is ~ 15 kWh / kg Mg

## Závery

- ✓ Nadmierna transformácia primárnej energie ľuďmi zapríčiňuje seriózny zásah do rovnováhy prirodzených procesov na planéte (najmä generovanie dodatočného tepla ~550 EJ/y a $CO_2$ ~ 35 Gt/y)
- ✓ Na zníženie negátvnych vplyvov je potrebný komplexný prístup (samotná redukcia $CO_2$ nebude stačiť)
- ✓ Potreba energie sa musí zredukovať, najlepšie recykláciou nevyužívaného odpadového tepla, ktoré vzniká kvôli technickým limitom účinnosti konverzie
- ✓ Existujú technické riešenia, potrebné je však porozumenie všetkých aktérov, ktorí vedia smerovanie ovplyvniť (politici, podnikatelia, užívatelia)
- ✓ Europa by si mala udržať svoj tradičný inovačný potenciál, založený aj na automobilovej výrobe. Mala by sa vyhnúť závislostiam na mimoeurópskych krajinách.
- ✓ Na zmenu stratégie sú potrebné sú finančné zdroje. Tie práve môže vygenerovať tradičný inovatívny priemysel vrátane automobilového **ak ho politicky nezničíme ako prvú obeť**.


John Calhoun mouse utopia experiment
Number of mice in the population
2000
1000
100
8
last born [~600 DAC]
total self-extinction
A
Phase B
Phase C
Phase D
500
1000
1500
Days After Colonization [DAC] with 4 pair of mice

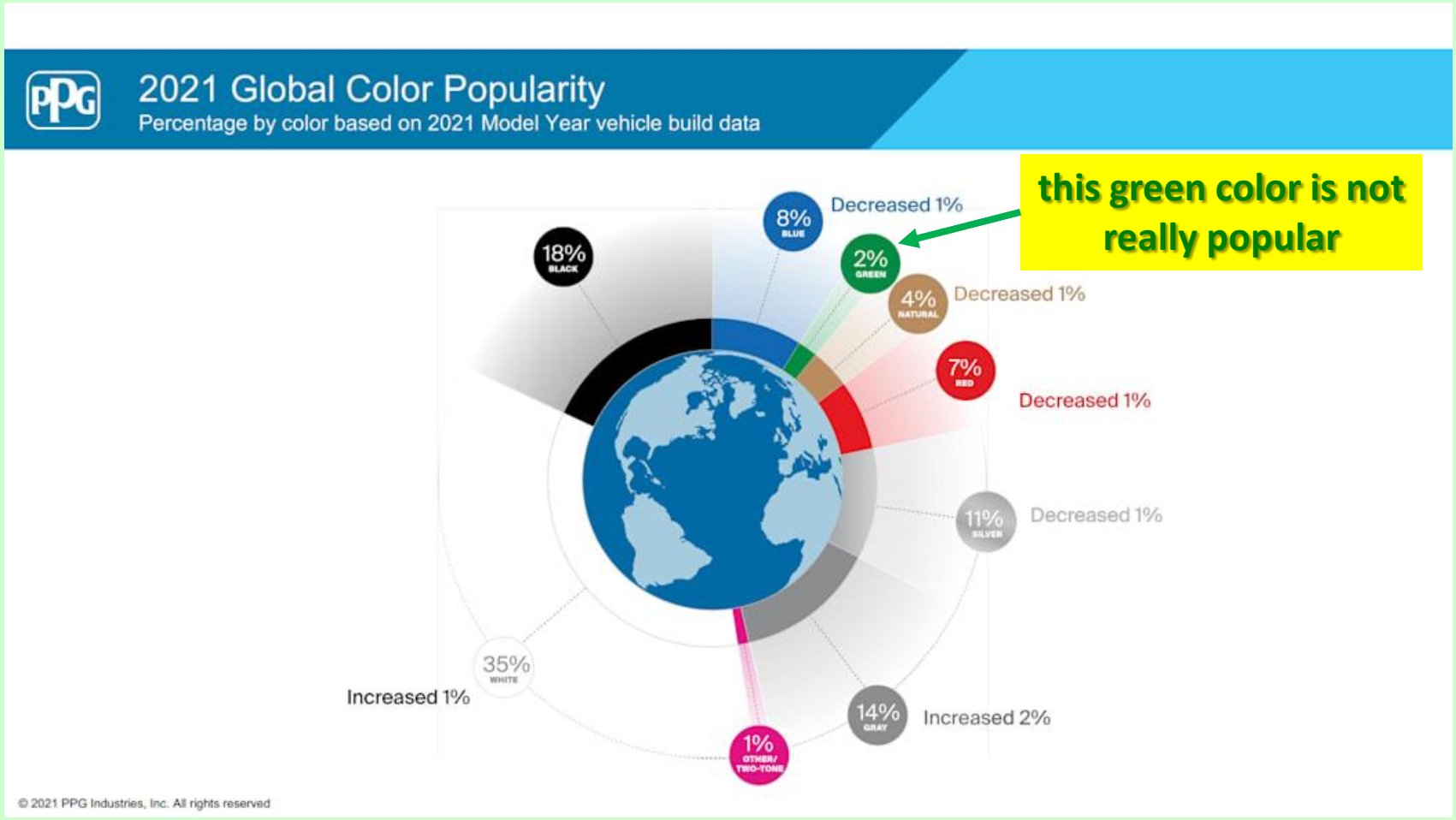


## Vďaka za pozornosť ....

- naša Zem je modrá...
- $CO_2$ supports podporuje jej ozelenenie...
- myslite na to...

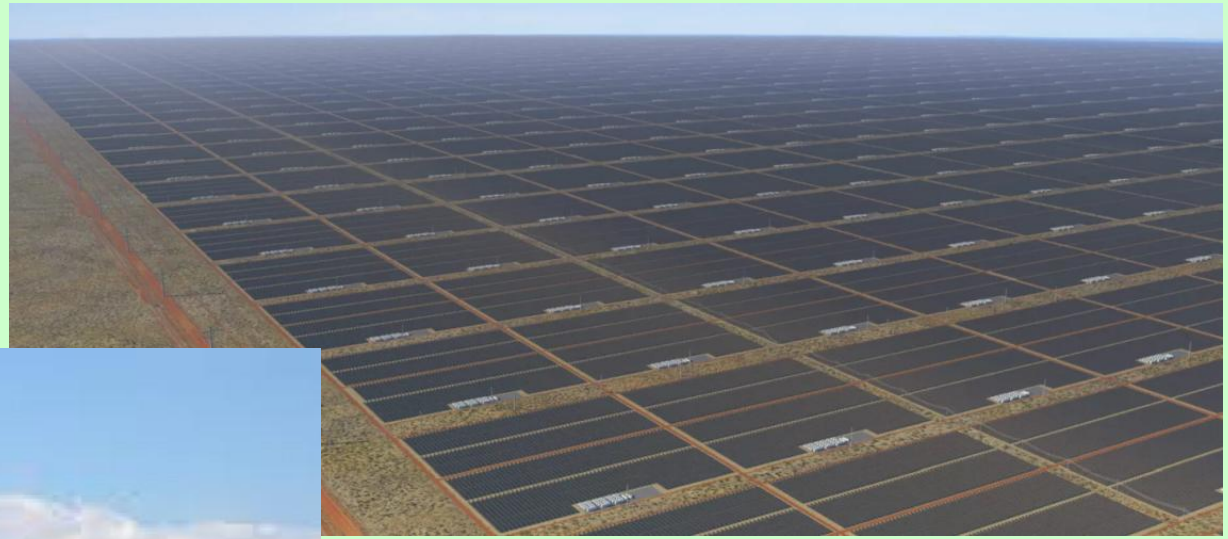
# Which car is actually green?

*Source: www.engadet.com*




*Source: www.engadet.com*

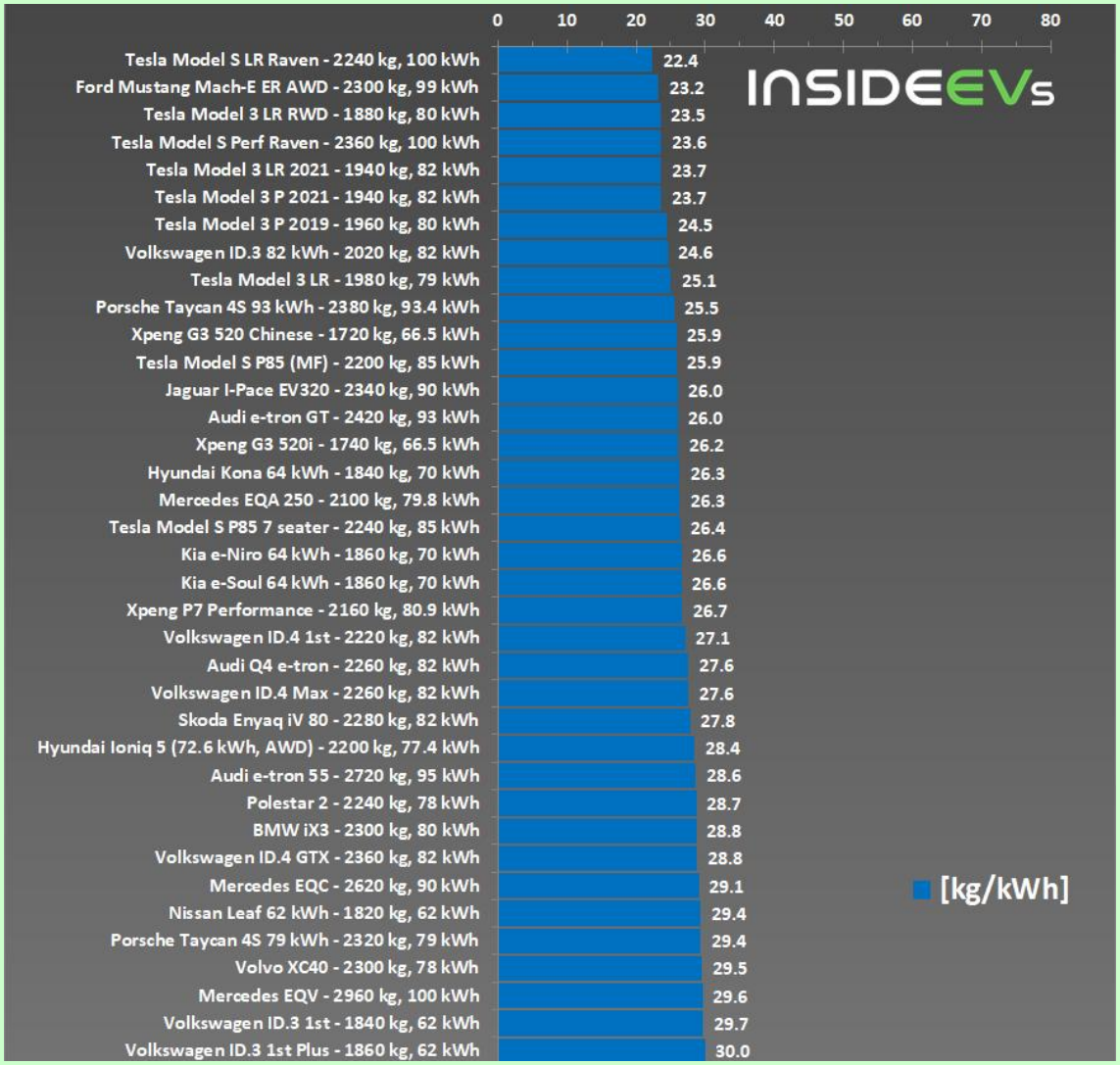
**Really popular green is this……**



*Source: https://www.elektrolab.eu*

*Source: www.blog.postoj.sk (V.Oberhauser)*

**Why?**




## Vehicle Weight Per Battery Pack Capacity

(Bjørn Nyland data)

***Based on BEV efficiency (~85%) 1 kWh mechanical energy is needed to drive ~20 kg of the car for the distance ~500 km.***

***For driving 1800 kg vehicle for 500 km about ~90 kWh mechanical energy is needed.***

# Combustion engine

**Advantages:**

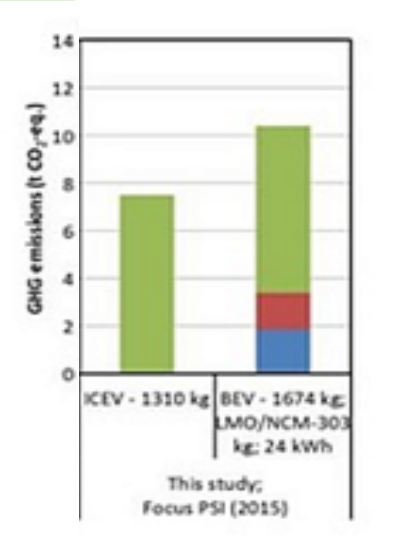
- ✓ Existing traditional, well-developed concept
- ✓ Existing fuel filling infrastructure
- ✓ Prepared for use of synthetic fuels

**Disadvantages**

- waste heat production > 60 % energy wasted in car
- Emits $CO_2$ and $NO_x$ (political & societal problem)
- Emits dust (solved by particle filtration)
- More complex mechanical assembly
- Difficult to recover mechanical energy (e.g. from breaks)

*Source for dg.: Kim.et.al., Environ. Sci. Technol.* 2016, 50, 14, 7715–7722

# Electric engine




**Advantages:**

- ✓ No excessive heat production in car
- ✓ Possibility to recover braking energy
- ✓ No emissions during driving
- ✓ Easy maintenance, less complicated, autonomous driving easier

**Disadvantages**

- Novel concept, rapidly changing
- Needs heavy batteries, critical materials needed (energy), recycling concepts not developed
- Missing charging infrastructure (energy losses, costly)
- Long charging times (quick charging causes overheating, and battery lifetime shortening)
- Air conditioning/heating reduces driving distances
- Rather limited driving range or very expensive (battery material costs)

***Note:*** *it is about 3 TWh/y net energy to be produced by renewables to fully charge personal cars in SK*