

PROBLÉMY KLIMATICKEJ ZMENY A ENERGETIKY NA SVETE A NA SLOVENSKU

Milan Lapin, FMFI UK

s využitím výsledkov IPCC, NOAA, NASA a merania SHMÚ

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky,

Univerzita Komenského, Bratislava, lapin@fmph.uniba.sk

www.milanlapin.estranky.sk

Konferencia SES 2019, Harmónia, 18.XI.2019

DEFINÍCIE ZMIEN KLÍMY, KOLÍSANIA KLÍMY A PREMENLIVOSTI KLÍMY

- **Zmeny klímy** - tento termín sa v minulosti používal pre všetky zmeny súvisiace s klímou (v súčasnosti podľa Medzivládneho panelu OSN o zmene klímy (IPCC, 1996) takto nazývajú už len zmeny klímy prirodzeného charakteru)
- **Premenlivosť klímy** - klimatické pomery charakterizujeme priemermi, rozptylovými, trendovými a cyklickými charakteristikami (smerodajná odchýlka a koeficient variácie je príkladom charakteristík rozptylu - variability)
- **Kolíсанie klímy** - prirodzené kolíсанie klimatických charakteristík je dané predovšetkým solárnou klímou (ročný chod, 11-ročný cyklus...), iné cykly súvisia s cyklickosťou niektorých klimatotvorných procesov (El Niño, LaNiña, NAO, AO, AAO, PDO a rad iných). Dlhé periódy kolísania klímy súvisia napríklad s Milankovičovými cyklami (okolo 100 tisíc rokov) a radom iných
- **Zmena klímy** je iba tá časť zo všetkých zmien klímy, ktorú spôsobil človek zmenou skleníkového efektu atmosféry (emisie skleníkových plynov a aerosólov, využívanie krajiny)

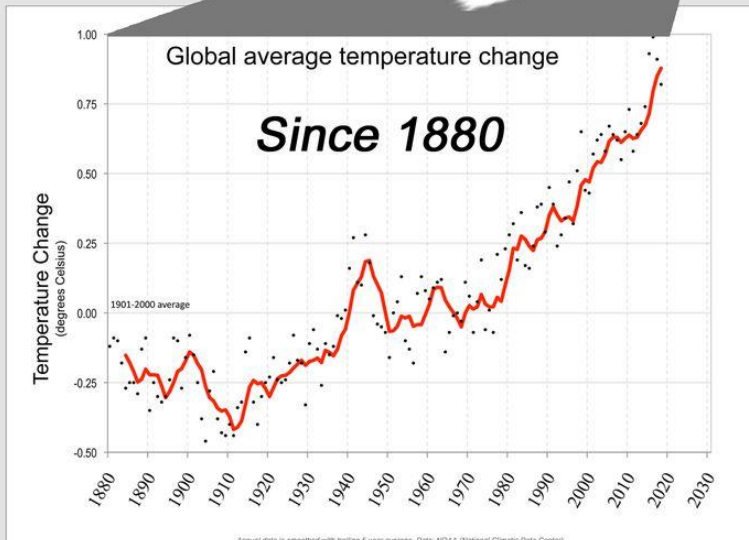
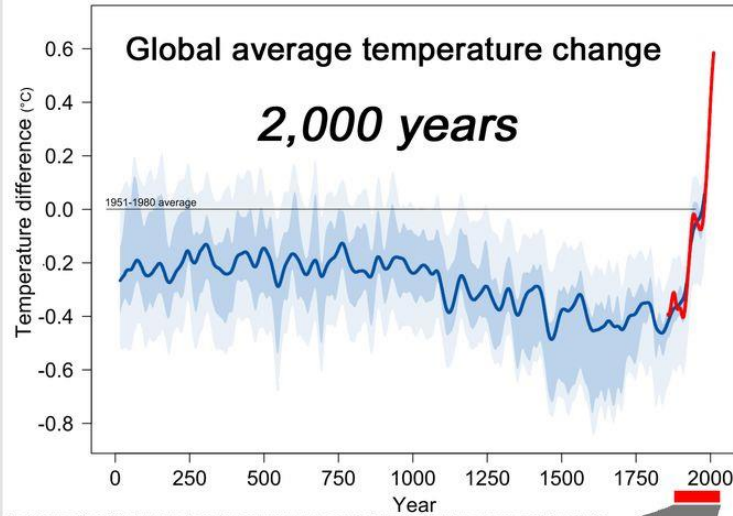
VEDECKÁ TEÓRIA KLIMATICÝCH ZMIEN

- Fyzika, chémia a biológia klimatických zmien, teda klimatickej zmeny (definícia inde) a prirodzených zmien klímy – ale aj:
- **Socio-ekonomické súvislosti a dôsledky** – aj využívanie fosílnych a alternatívnych zdrojov, zmeny vo využívaní krajiny, poľnohospodárstvo a i.
- **Prirodzené ekosystémy a klimatická zmena** – aj možnosti adaptácie, regulácia uhlíkového cyklu...
- **Pozitívne a negatívne spätné väzby** – aj dlhodobé zmeny v uhlíkovom cykle ale aj CH_4 a N_2O
- **Dezinformácie šírené záujmovými skupinami** – najmä v súvislosti s využívaním fosílnych palív a konkurencieschopnosťou v prípade prijatia opatrení

EŠTE K ÚVODU DO PROBLEMATIKY ADAPTÁCIE NA KLIMATICKÚ ZMENU

- Zmeny a premenlivosť klímy ako aj ich možné dôsledky sa dostávajú do centra pozornosti najmä v obdobiach s výskytom rôznych extrémov počasia. Za mimoriadny až extrémny vývoj počasia sa považujú aj prípady s pomerne častým výskytom (aj častejšie ako raz za 10 rokov v priemere) a prehliadajú sa **systematické zmeny režimu počasia**. Málokedy sa aj v odborných kruhoch analyzujú štatistické charakteristiky zmien a variability klímy z pohľadu možných škodlivých vplyvov.
- Hoci majú zainteresovaní odborníci v rôznych sektoroch viac znalostí z teórie zmien a premenlivosti klímy ako laici, aj oni sú niekedy zaťažení iba spomienkami na predchádzajúce 2 - 3 roky.
- V príprave opatrení na **adaptáciu na klimatickú zmenu** je potrebný predovšetkým seriózny štatistický postup a korektná vedecká (fyzikálna) interpretácia možných dôsledkov (**impacts and vulnerability**). Zmierňovanie klimatickej zmeny (**mitigation options**) ale vyžaduje **celosvetovú koordináciu opatrení** pod patronátom celosvetových organizácií (najmä OSN).

ODCHÝLKY PRIEMEROV TEPLOTY VZDUCHU NA ZEMI (OBDOBIE 0-2018) OD DP 1951-1980 (IPCC, NASA, zmena v období 1850-2018)

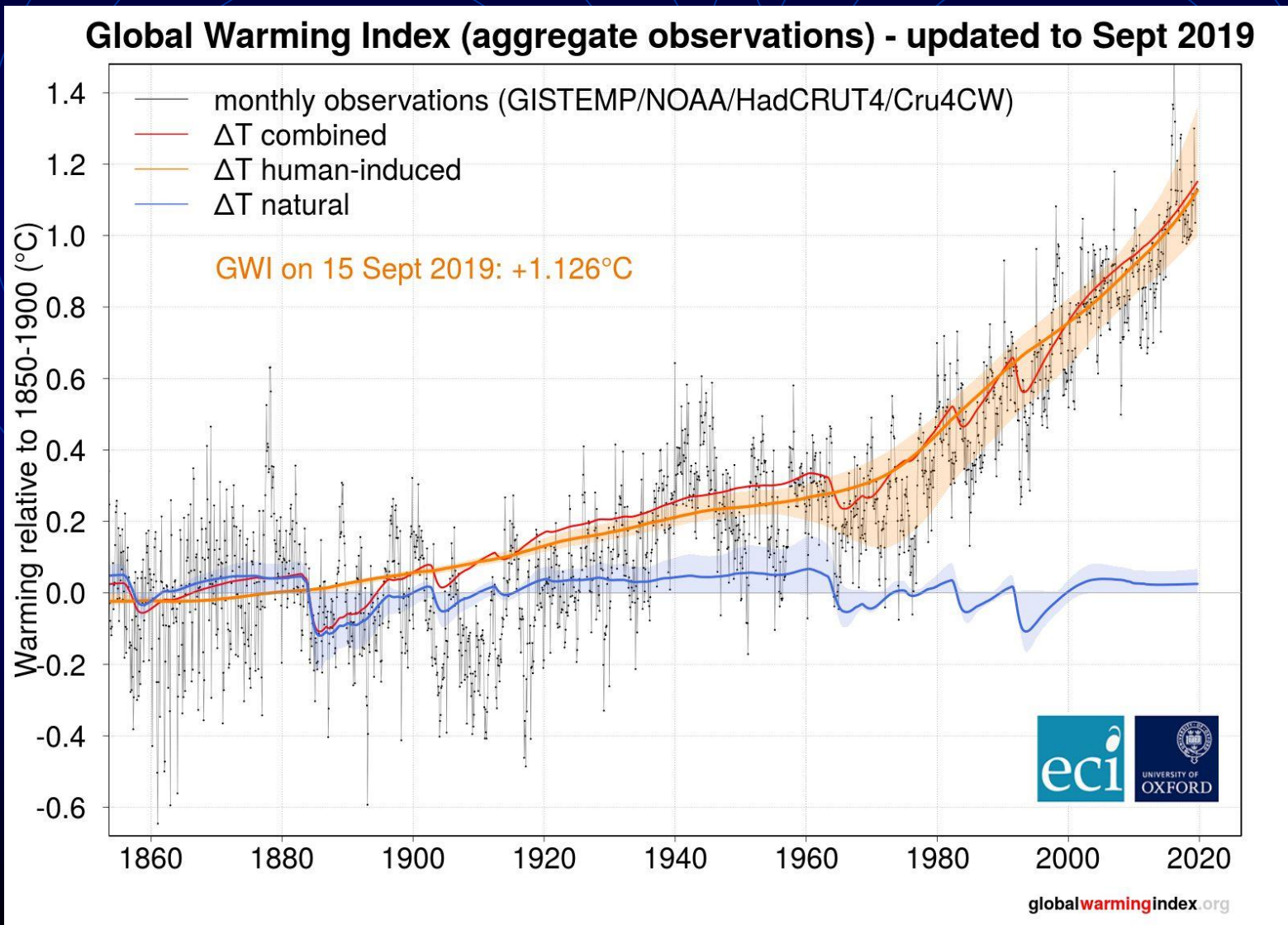


Tento historický graf priemernej teploty sem uvádzam najmä preto, lebo sa často tvrdí, že také oteplenie sme tu už mali celkom nedávno

V nasledujúcom grafe je kvantifikovaný podiel človeka na globálnom oteplení o 1,1 °C

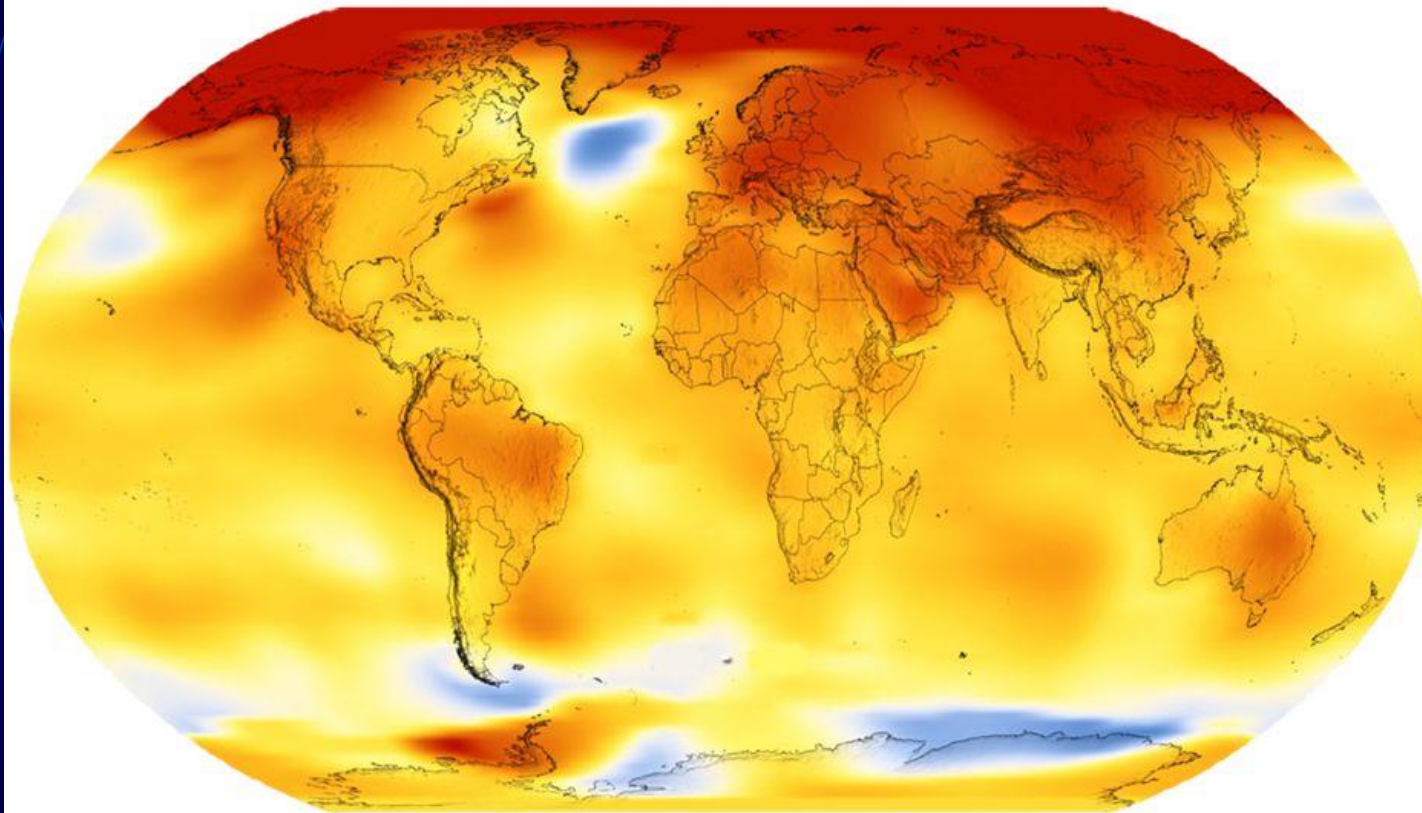
ODCHÝLKY PRIEMEROV TEPLOTY VZDUCHU NA ZEMI (OBDOBIE 1850-2019 OD 1850-1900)

Zdroj: http://www.globalwarmingindex.org/AWI/AWI_AR5_large.html

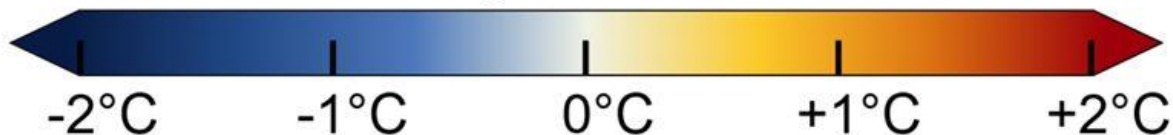


OTEPLENIE KLÍMY V OBDOBÍ 2014-2018 OPROTI PRIEMERU 1951-1980 PODĽA GISS (NASA)

Temperature Change in the Last 50 Years

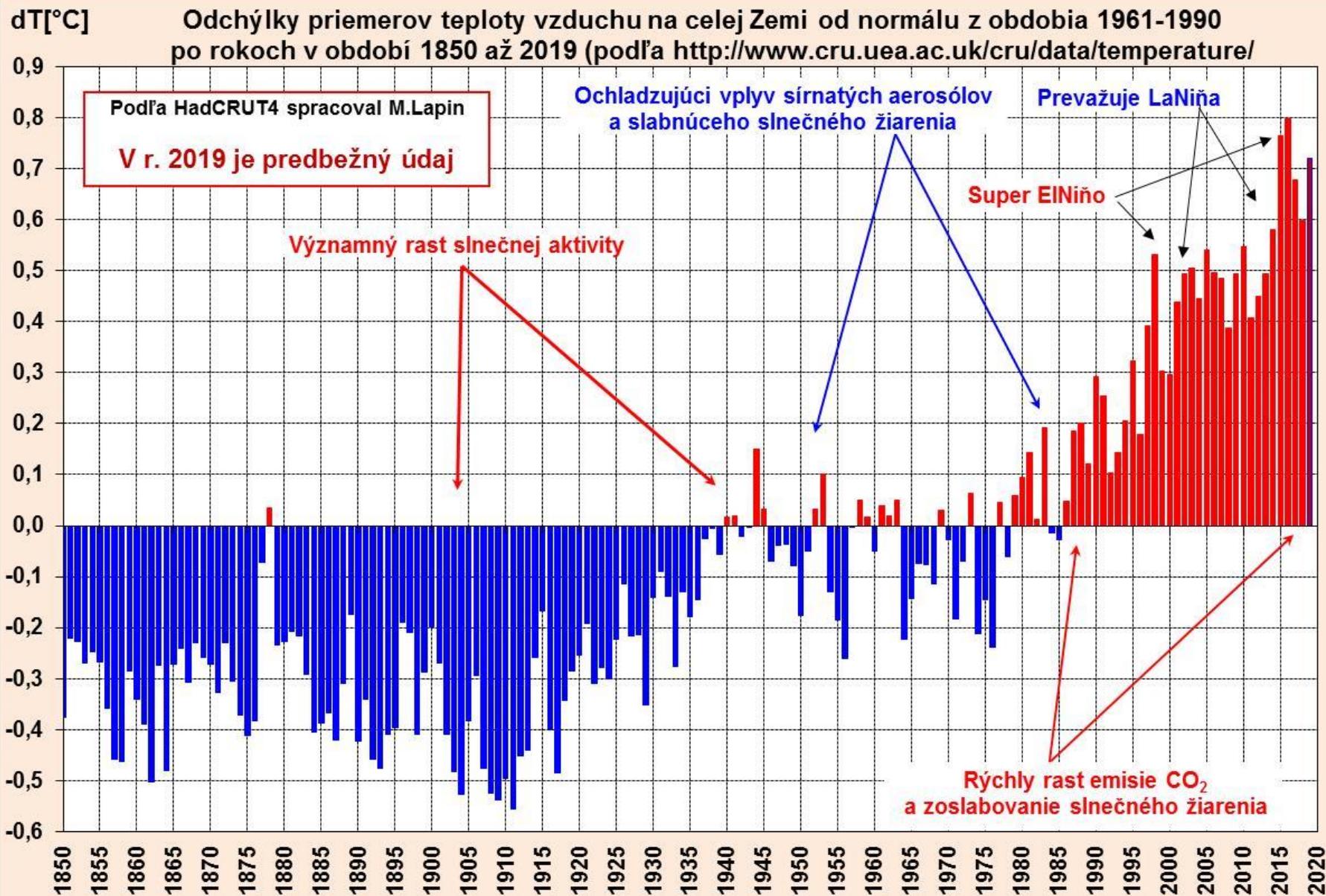


2014-2018 average vs 1951-1980 baseline



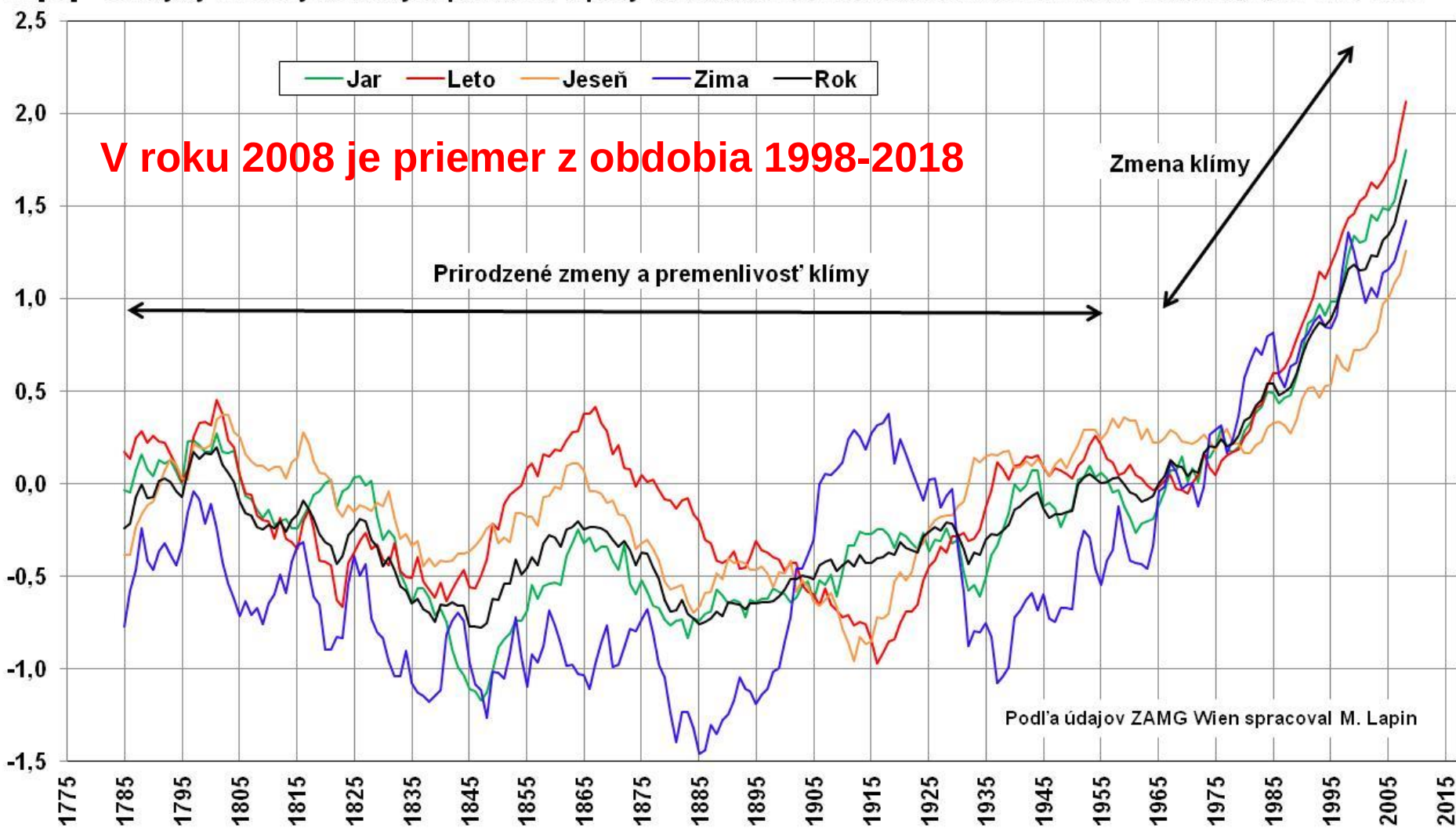
V r. 2014-2018 bolo 5 najteplejších rokov od r. 1850, odvtedy máme vyhodnotenie globálnej teploty. Rok 2019 bude zrejme 3. alebo aj 2. najteplejší. Najviac sa otepľuje klíma v Arktíde, čo má rad dôsledkov, aj na zmeny cirkulácie atmosféry.

ODCHÝLKY ROČNÝCH PRIEMEROV TEPLOTY VZDUCHU NA ZEMI OD NORMÁLU 1961-1990 PODĽA STREDISKA HADCRU (UK)

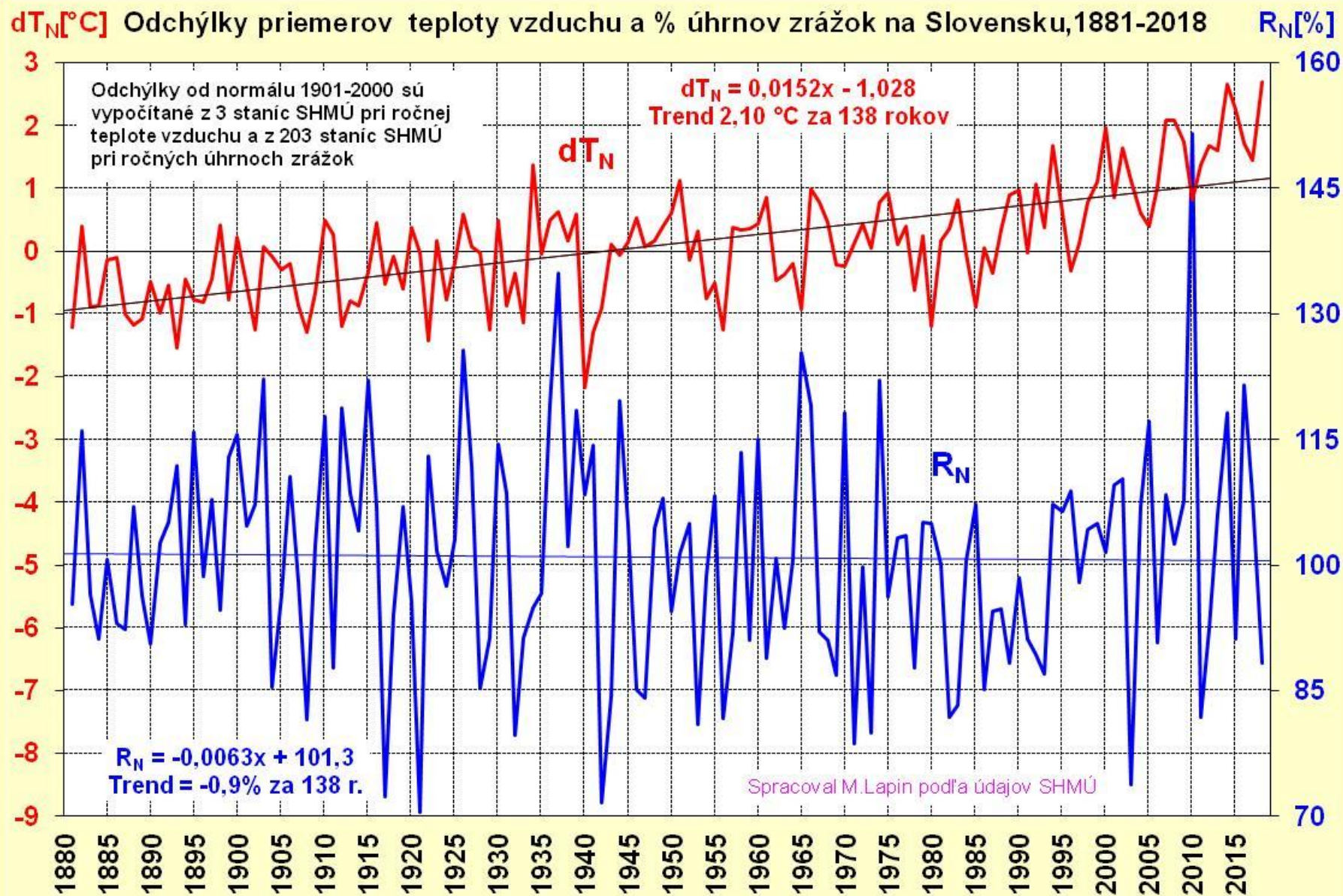


ZMENU KLÍMY DOBRE VIDÍME NA 21-ROČNÝCH KÍZAVÝCH PRIEMEROCH SEZÓNNEJ TEPLOTY VZDUCHU VO VIEDNI OD ROKU 1775 (DO 1960 DOMINUJÚ PRIRODZENÉ ZMENY KLÍMY, POTOM JEDNOZNAČNE ZMENA KLÍMY – GLOBÁLNE OTEPL'OVANIE)

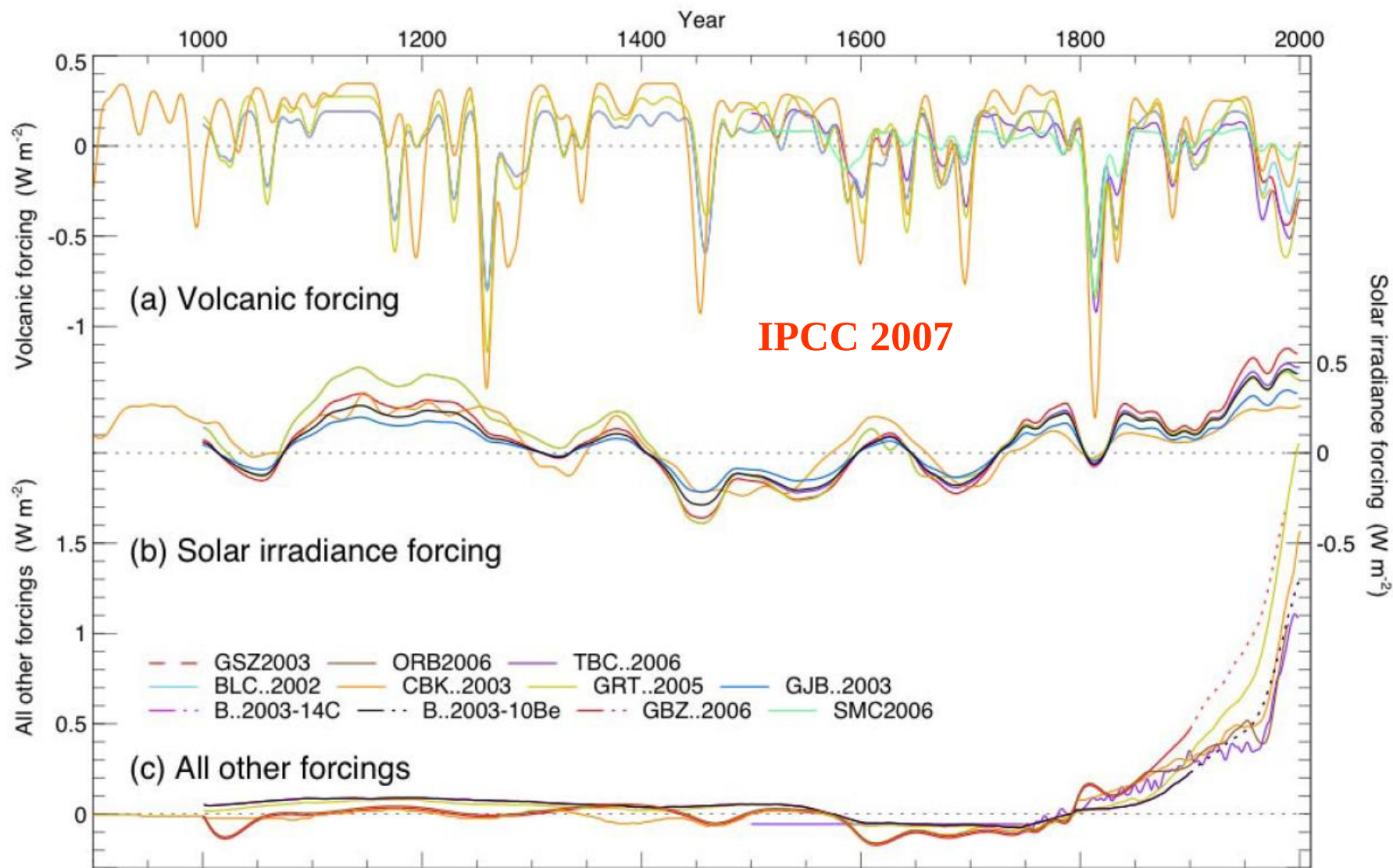
dT[°C] Odchýlky 21-ročných kízavých priemerov teploty od normálu 1901-2000 na stanici Wien Hohe-Warte v období 1775-2018



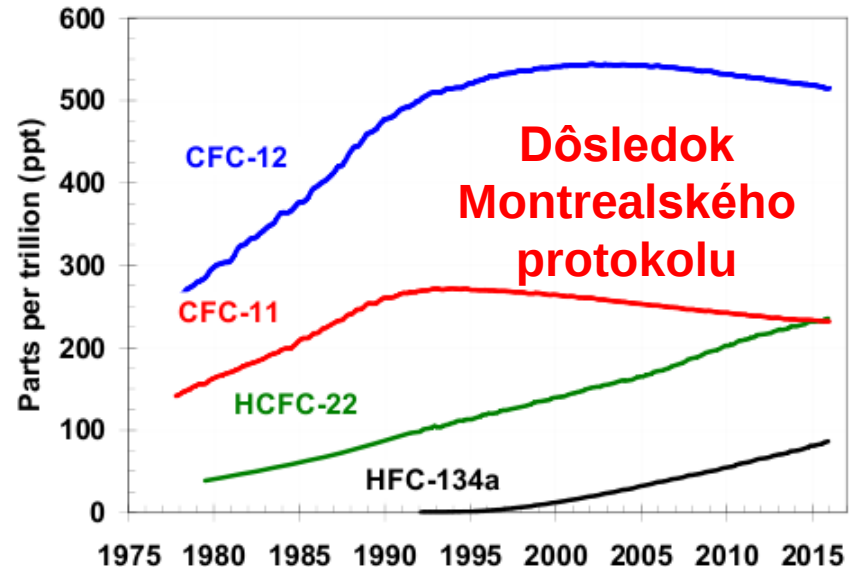
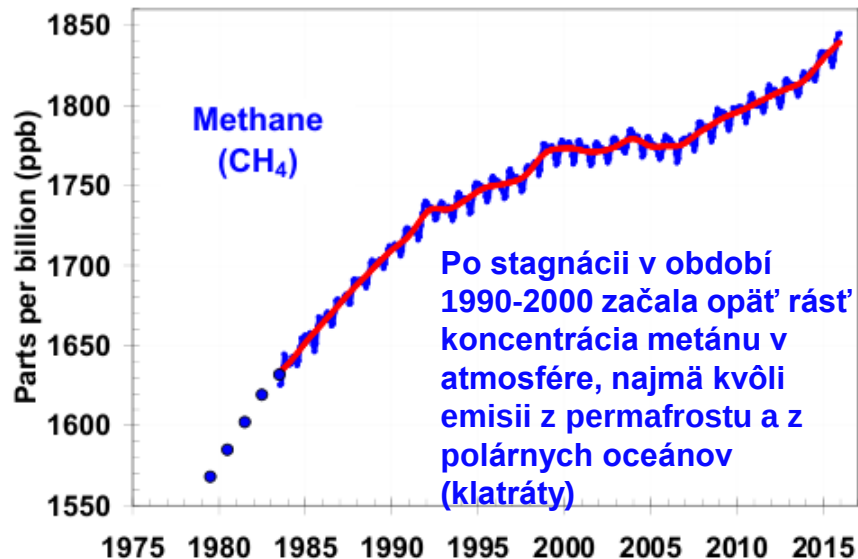
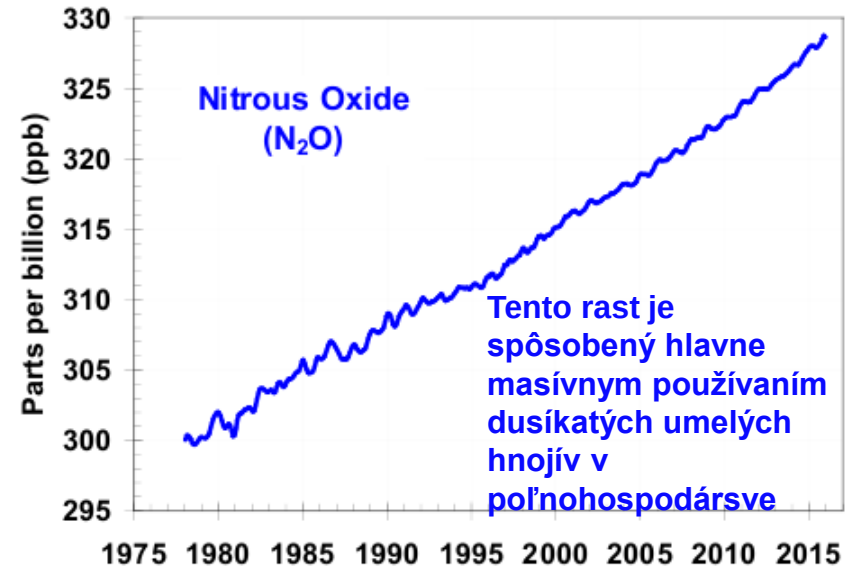
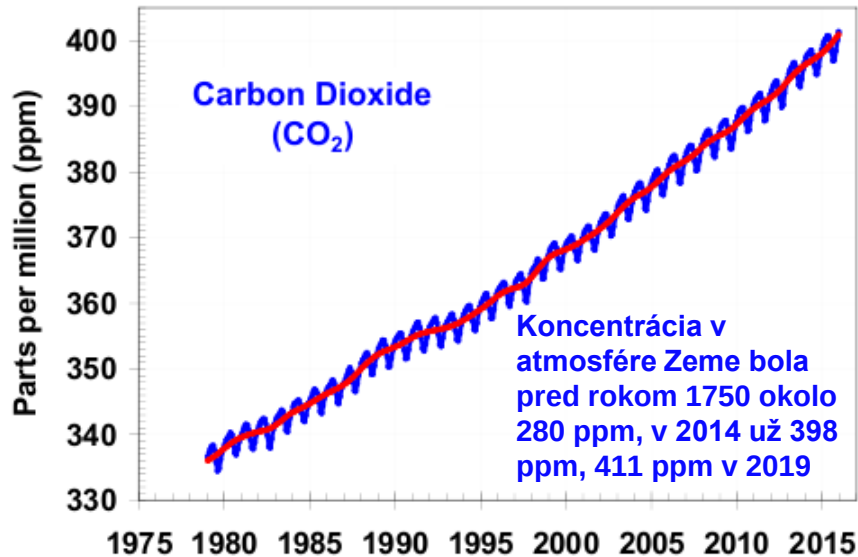
ZMENY ROČNÝCH PRIEMEROV TEPLOTY VZDUCHU A ROČNÝCH ÚHRNOV ZRÁŽOK NA SLOVENSKU OD 1881, PODĽA SHMÚ



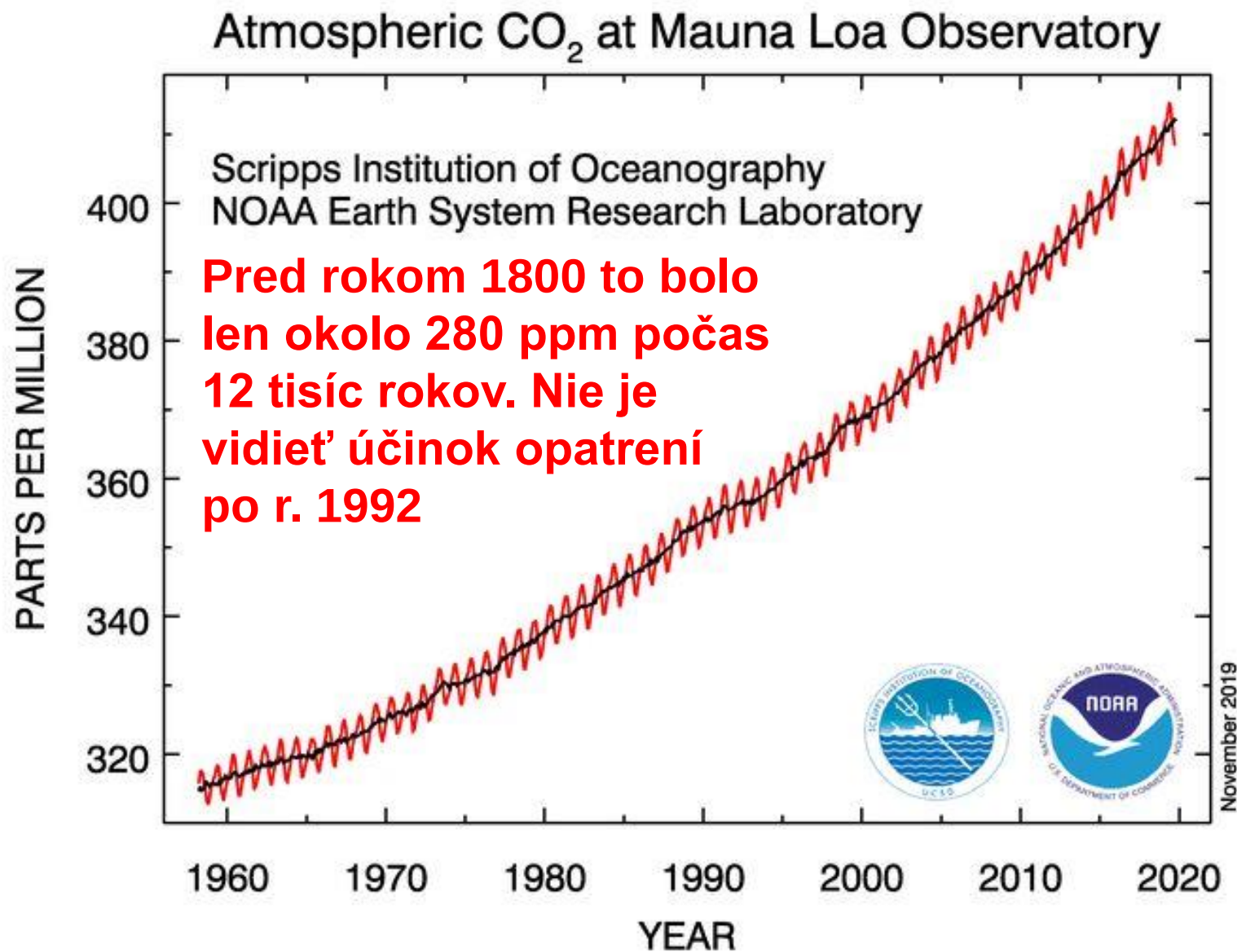
HLAVNÉ FAKTORY VPLÝVAJÚCE NA GLOBÁLNU KLÍMU OD ROKU 900 – VULKANICKÉ ERUPCIE, SLNEČNÁ AKTIVITA A VPLYV ČLOVEKA, IPCC 2001



TREND RÔZNYCH SKLENÍKOVÝCH PLYNOV, Wikipedia



Rast koncentrácie CO₂ v atmosfére Zeme, Mauna Loa



Emisia fosílného uhlíka z všetkých krajín na Zemi v miliónoch ton do r. 2014 (CO₂ je 3,7-krát viac)

Ročná emisia fosílného uhlíka do atmosféry v miliónoch ton na celej Zemi podľa inventarizácie všetkých zdrojov do roku 2014 (scenár do roku 2020)

Zdroj: Carbon Dioxide Information Analysis Center
Oak Ridge National Laboratory
Oak Ridge, Tennessee 37831-6335

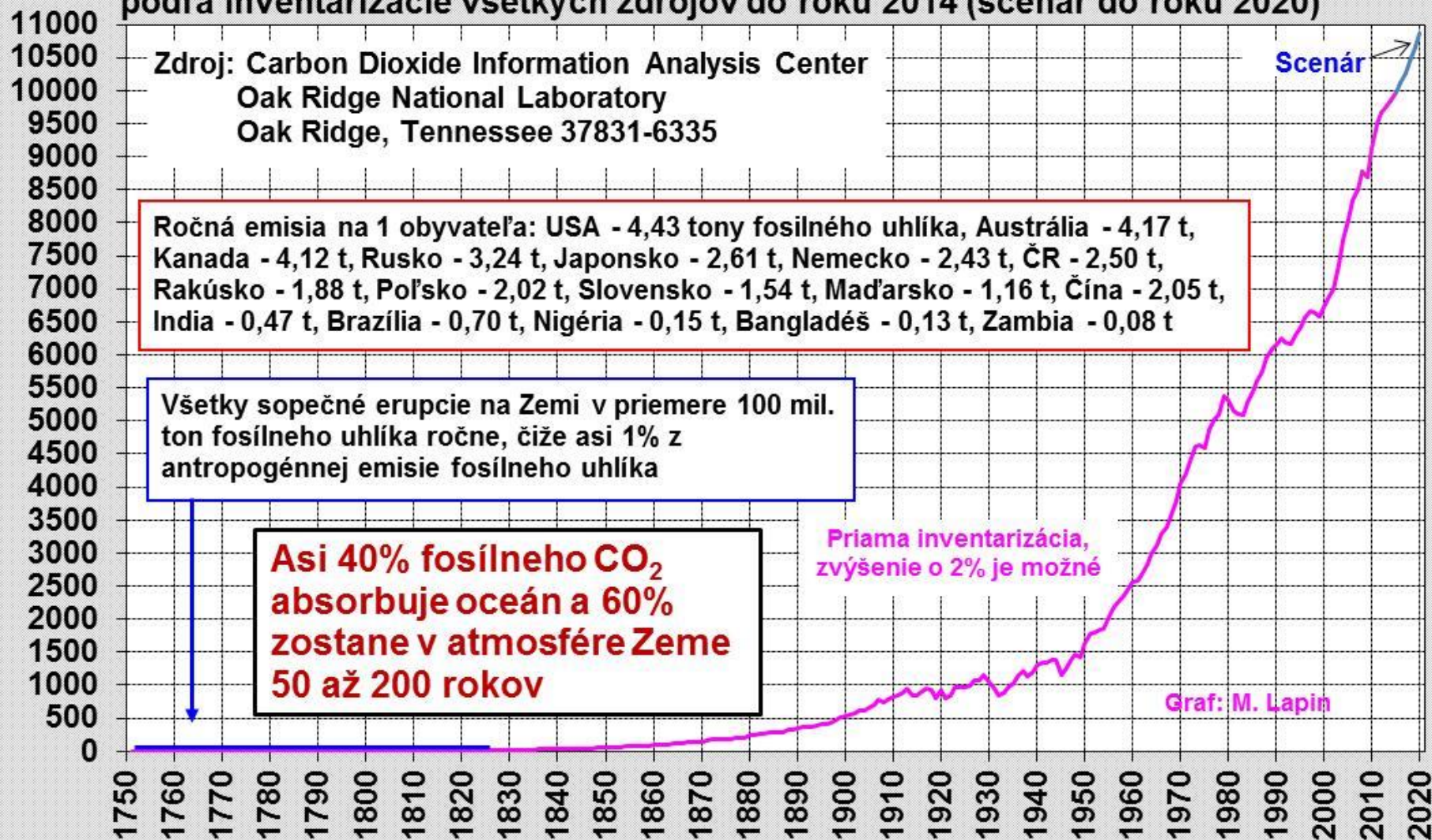
Ročná emisia na 1 obyvateľa: USA - 4,43 tony fosílného uhlíka, Austrália - 4,17 t, Kanada - 4,12 t, Rusko - 3,24 t, Japonsko - 2,61 t, Nemecko - 2,43 t, ČR - 2,50 t, Rakúsko - 1,88 t, Poľsko - 2,02 t, Slovensko - 1,54 t, Maďarsko - 1,16 t, Čína - 2,05 t, India - 0,47 t, Brazília - 0,70 t, Nigéria - 0,15 t, Bangladéš - 0,13 t, Zambia - 0,08 t

Všetky sopečné erupcie na Zemi v priemere 100 mil. ton fosílného uhlíka ročne, čiže asi 1% z antropogénnej emisie fosílného uhlíka

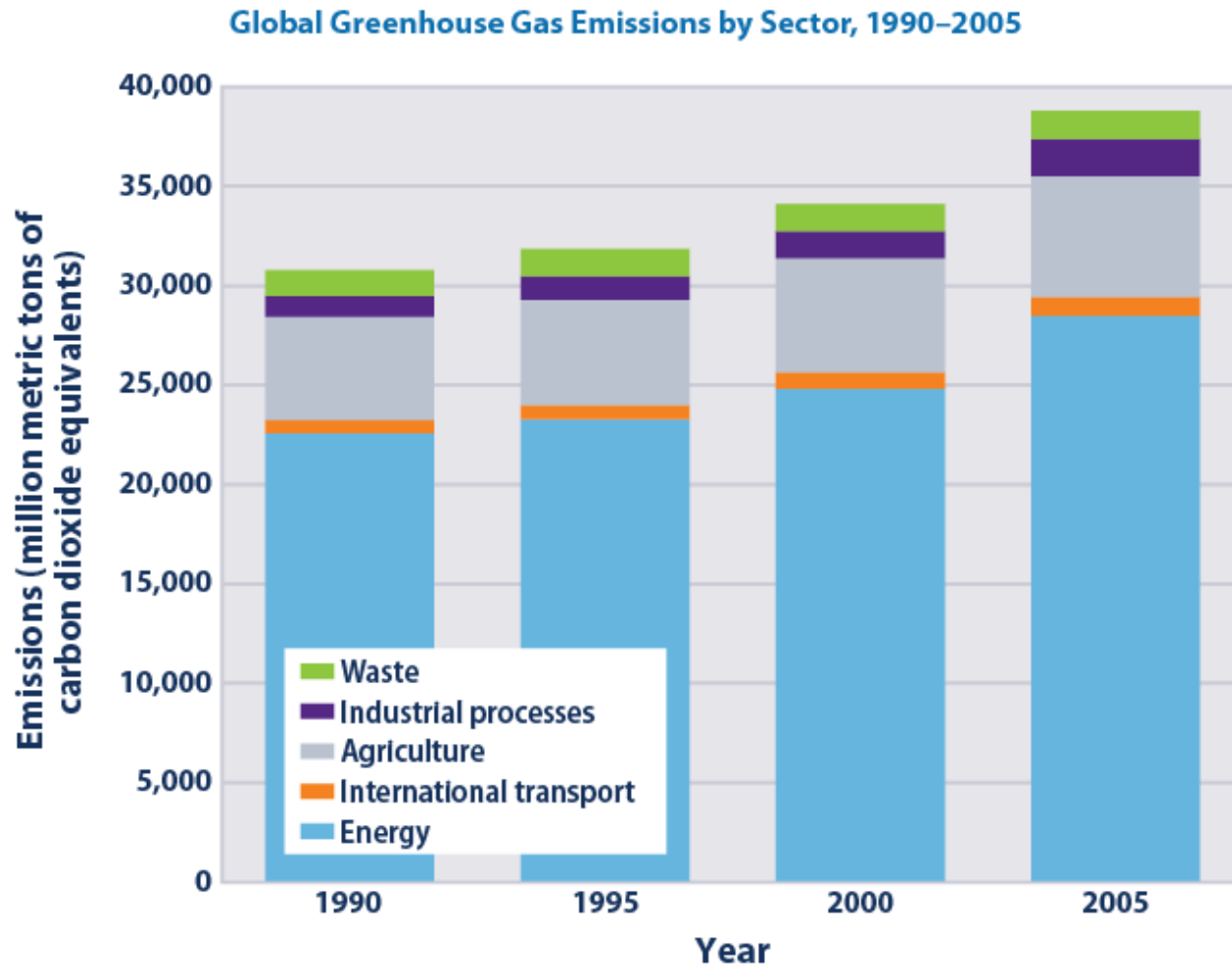
Asi 40% fosílného CO₂ absorbuje oceán a 60% zostane v atmosfére Zeme 50 až 200 rokov

Priama inventarizácia, zvýšenie o 2% je možné

Graf: M. Lapin



GLOBALNA EMISIA SKLENÍKOVÝCH PLYNOV AKO EKVIVALENT CO₂ PO SEKTOROCH v mlrd. t



Data source: World Resources Institute. 2009. Climate Analysis Indicators Tool (CAIT). Version 6.0. Accessed January 2009. <http://cait.wri.org>.

For more information, visit U.S. EPA's "Climate Change Indicators in the United States" at www.epa.gov/climatechange/science/Indicators.

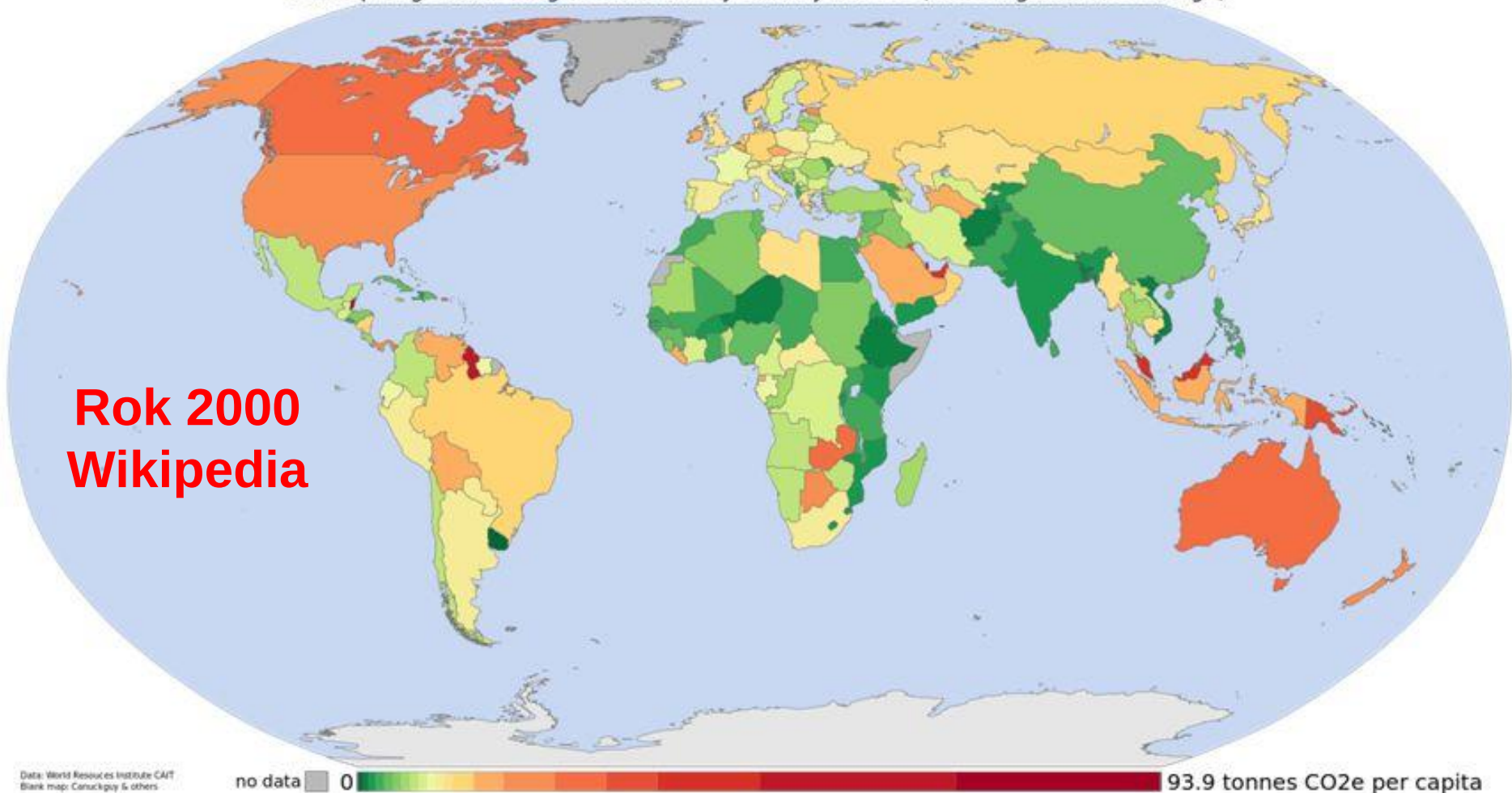
V energii je zahrnutá aj doprava, okrem medzinárodnej a komunálna sféra

Uvedený trend zrejme pokračuje aj po r. 2005
Rozhodujúca je sféra spotrebi-
teľov energie ale
aj neefektívne
využívanie
energie

EMISIA SKLENÍKOVÝCH PLYNOV NA JEDNÉHO OBYVATEĽA AKO CO₂ VO VŠETKÝCH KRAJINÁCH

Slovensko patrí medzi rozvinutými krajinami medzi najlepšie, hlavne vďaka jadrovej energetike, v ďalších r. zrejme podobne

Per capita greenhouse gas emissions by country in 2000 (including land-use change)

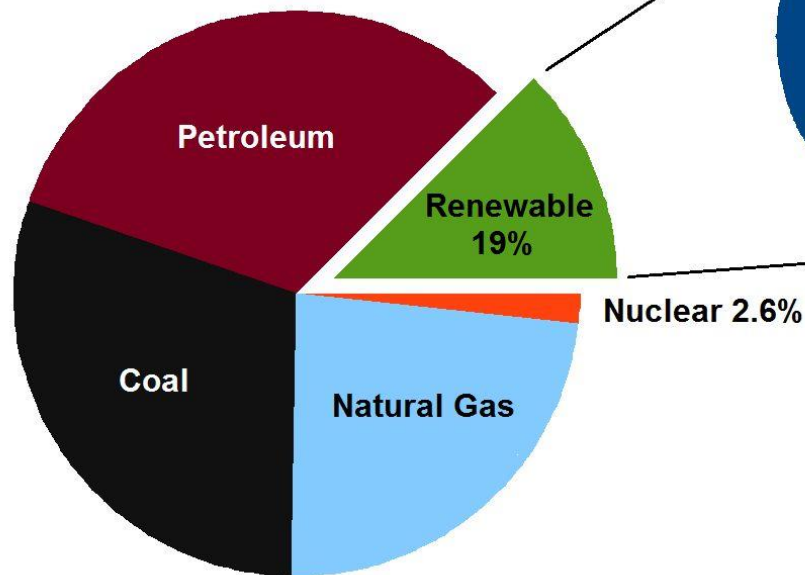


OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE VO VŠETKÝCH KRAJINÁCH NA ZEMI V ROKU 2012 (EÚ 17,5% v r. 2017)

Slovensko patrí v tomto smere medzi zaostávajúce krajiny (9% z celkovej spotreby energie v r. 2012, 11% v r. 2017), nízke je predovšetkým využitie veternej energie, naopak neuvážene vysoké je využitie biomasy z drevnej hmoty a olejnatých plodín

Podľa Wikipedie. V EÚ je plán využitia OZE 20% v r. 2020, čo sa asi splní, na Slovensku sa určite nesplní ani 15%

Fossil Fuel 78.4%

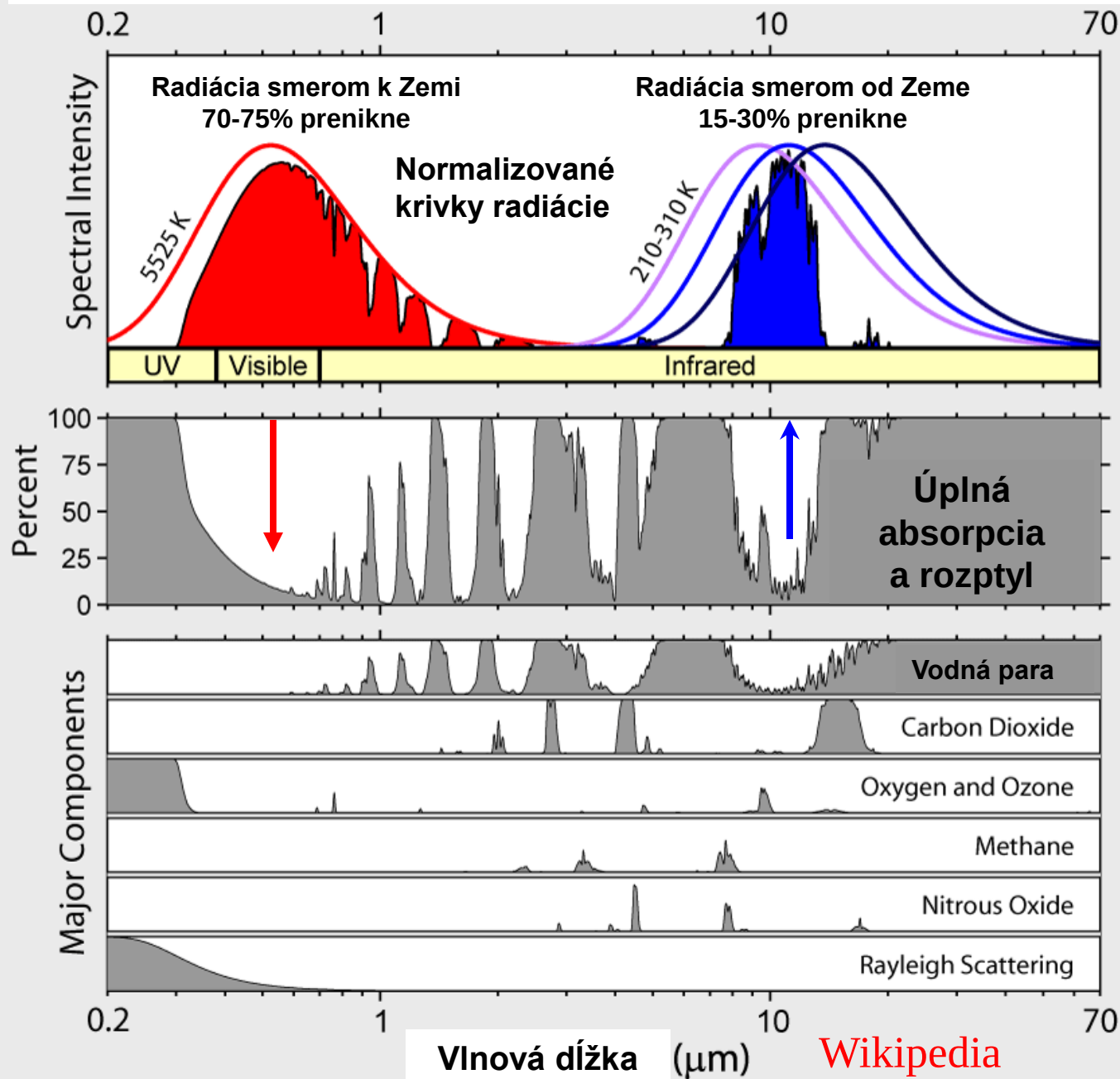


Renewable

Traditional biomass	9%
Bio-heat	2.6%
Ethanol	0.34%
Biodiesel	0.15%
Biopower generation	0.25%
Hydropower	3.8%
Wind	0.39%
Solar heating/cooling	0.16%
Solar PV	0.077%
Solar CSP	0.0039%
Geothermal heat	0.061%
Geothermal electricity	0.049%
Ocean power	0.00078%

Total World Energy Consumption by Source (2013)

Radiácia prenikajúca cez atmosféru Zeme



Jednotlivé skleníkové plyny majú rozdielny podiel na celkovej absorpcii, navyše sa pásy absorpcie prekrývajú

Ak by sme odstránili vodnú paru, klesol by skleníkový efekt o 36% (o 12 °C), ak by sme odstránili CO₂, klesol by o 9 % (o 3 °C)

Atmosféra sa absorpciou zohrieva a produkuje tiež dlhovlnné žiarenie v závislosti od jej teploty

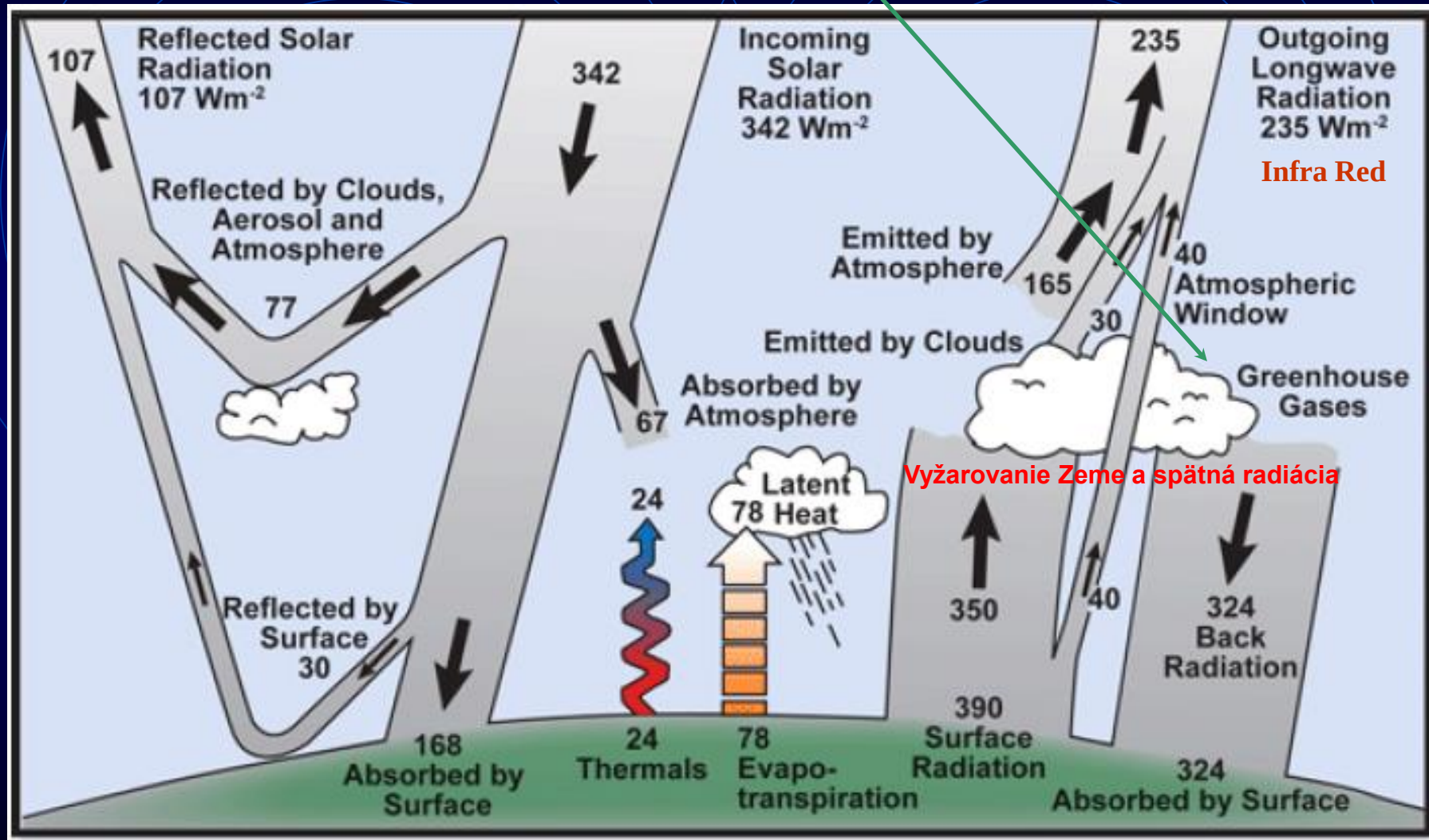
Čím je väčšia koncentrácia GHGs v atmosfére, tým je potom vyššia prízemná teplota

Ročné hodnoty energetickej bilancie Zeme a atmosféry

Albedo

SLNEČNÁ
RADIÁCIA

Skleníkové plyny v atmosfére,
Atmosférické okno H_2O pre $\lambda = 8.5\text{--}12.5\ \mu\text{m}$



AKÉ SCENÁRE KLIMATICKEJ ZMENY EXISTUJÚ ?

- Scenáre založené na výstupoch fyzikálnych Modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry Zeme - GCMs
- Scenáre analógové, Scenáre inkrementálne, Scenáre ako výstup stochastického generátora počasia – sa už dnes používajú iba na testovanie modelov
- **Scenáre kombinované** – zvolíme si GCMs scenáre T, R a s a podľa nich vypočítame analógy extrémov zrážok, výparu, snehovej pokrývky.... Uprednostňujeme v SR

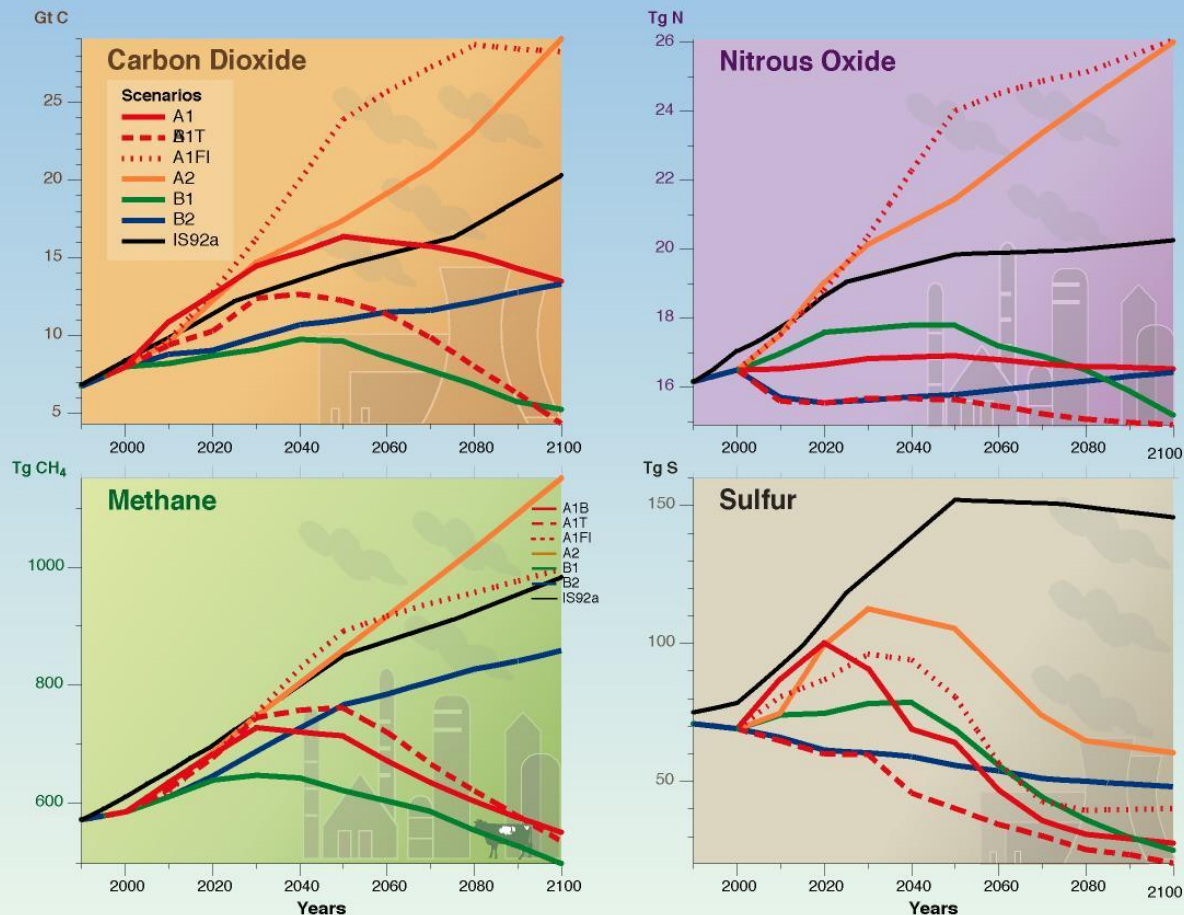
Scenáre

pre obdobie
1990-2100

Rozdiely
súvisia s
neistotami
správania
ľudí na Zemi

-energetika,
demografia,
životný štýl,
spotreba,
nové
technológie

Anthropogenic emissions of CO₂, CH₄, N₂O and SO₂ for the six SRES scenarios



WG1 TS FIGURE 17

Scenáre antropogénne podmienenej emisie CO₂, CH₄, N₂O a síry na celej Zemi

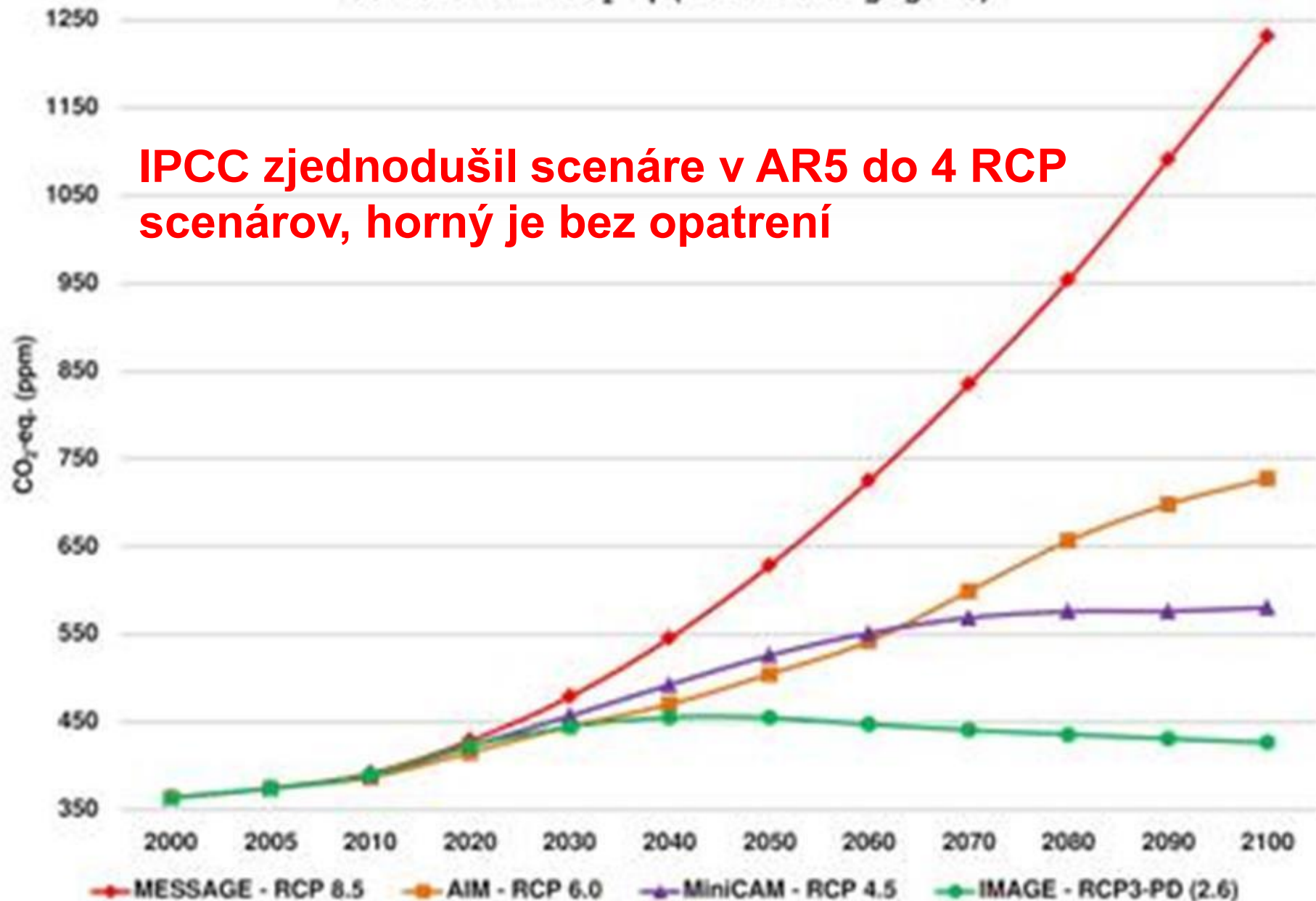
IPCC

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE



Concentration - CO₂-eq. (incl. all forcing agents)

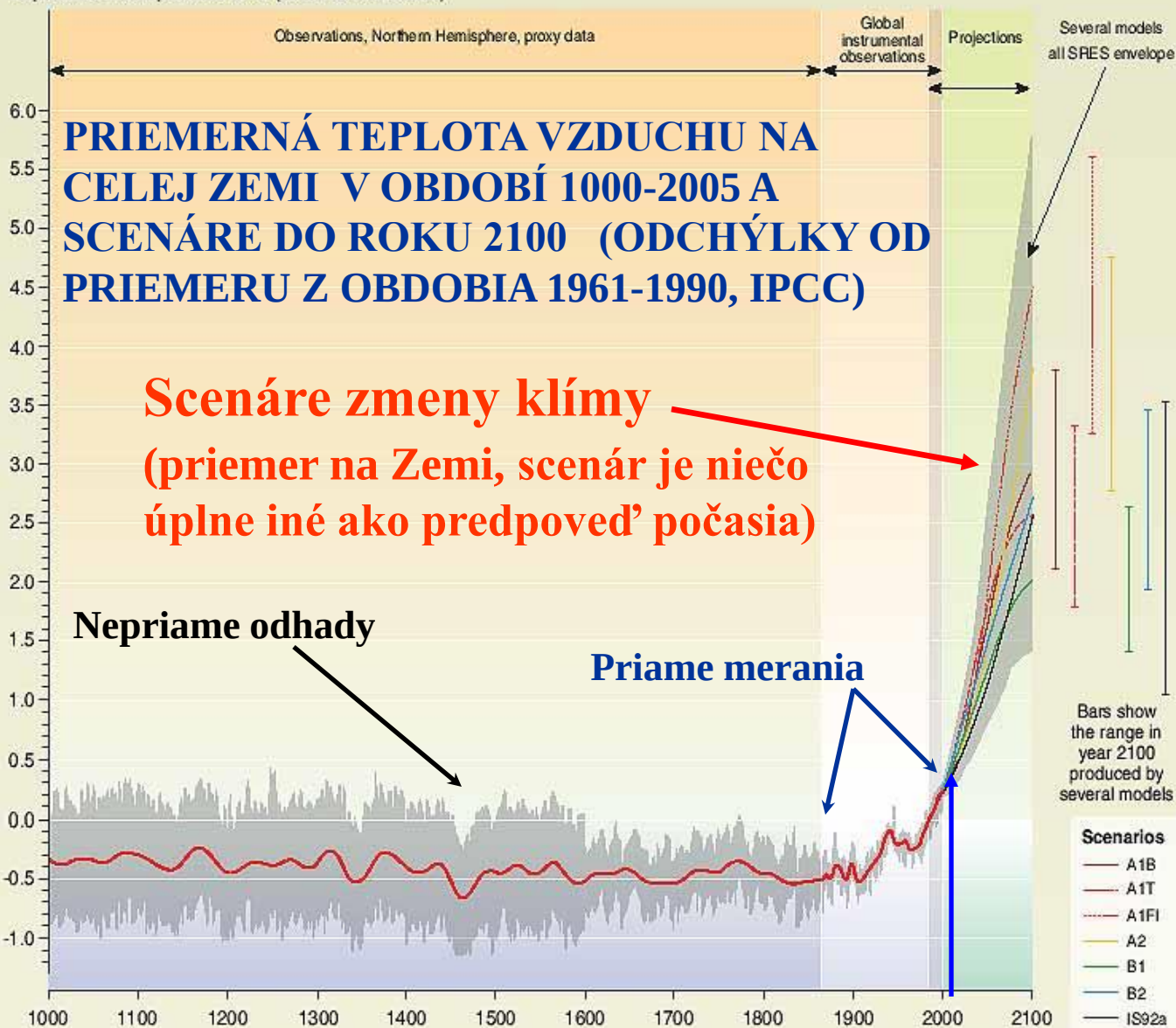
IPCC zjednodušil scenáře v AR5 do 4 RCP
scenářů, horný je bez opatření



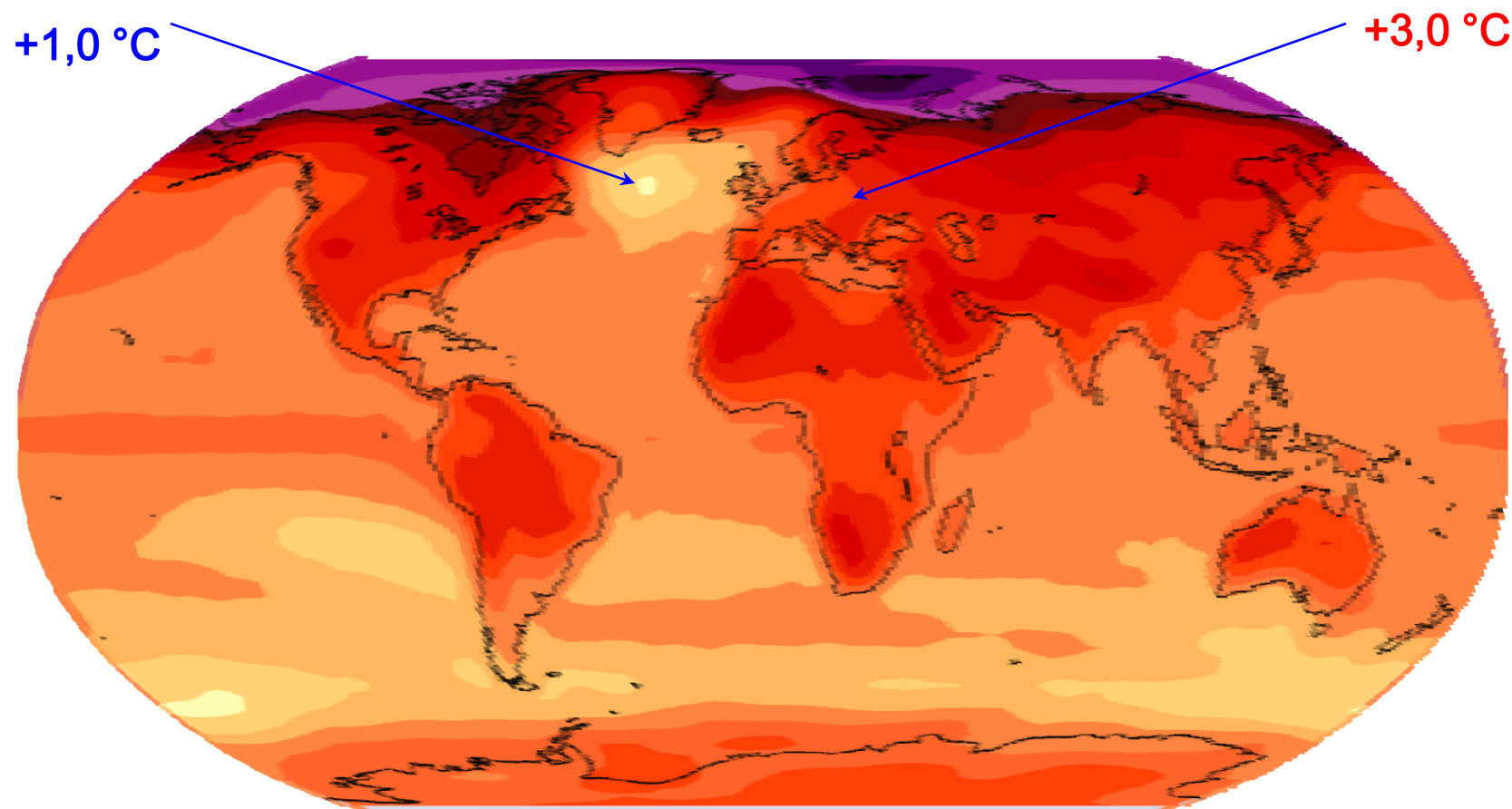
Od roku 1000 do roku 1860 vidíme zmeny a variabilitu globálnej teploty vzduchu ako výsledok analýzy podľa tzv. proxy údajov, teda letokruhov stromov, korálov, ľadovcov, záznamov v kronikách... Červená čiara reprezentuje 50-ročné priemery, šedá zóna 95% výskyt, všetko ako odchýlka ročných priemerov na Zemi od normálu z obdobia 1961- 1990.

Variations of the Earth's surface temperature: years 1000 to 2100

Departures in temperature in °C (from the 1990 value)



Geographical pattern of surface warming

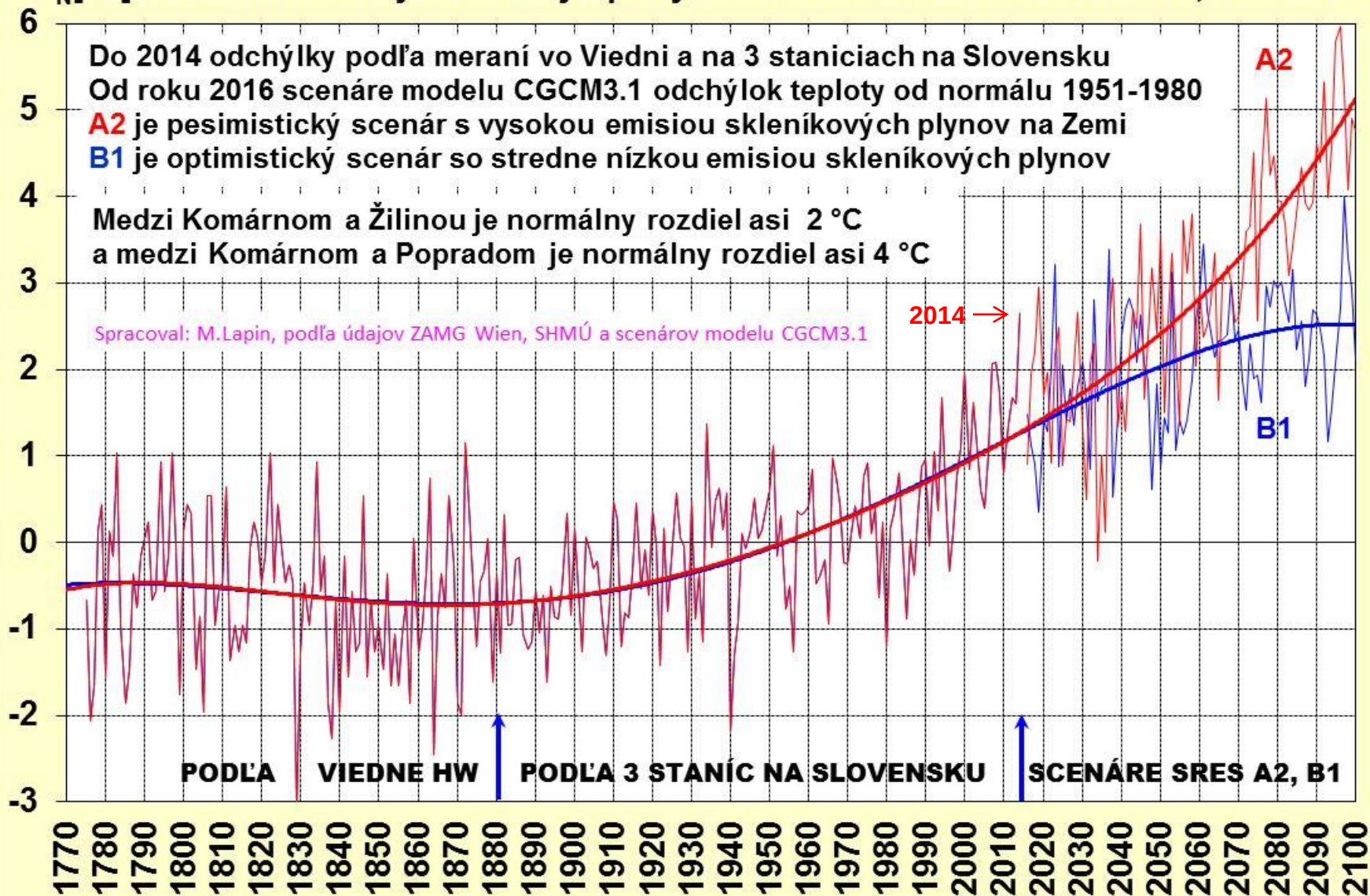


SYR AR4, IPCC 2007

(°C)

ZMENY TEPLOTY VZDUCHU NA SLOVENSKU

$dT_N [^{\circ}\text{C}]$ Priemerná odchýlka ročnej teploty vzduchu od normálu 1951-1980, Slovensko



OČAKÁVAME ZMENU KLÍMY, AKÉ MÔŽU BYŤ DÔSLEDKY ?

- Je isté, že bude naďalej pokračovať globálna emisia skleníkových plynov a tým aj otepľovanie dolnej vrstvy atmosféry na Zemi (navrhované opatrenia OSN sa zrejme nespĺnia na celej Zemi):
 - Môžu to do určitej miery ovplyvniť prirodzené zmeny klímy
 - Určite bude najrýchlejšie prebiehať zmena klímy v Arktíde
 - To spôsobí zmenšenie rozsahu plávajúceho ľadu, ale tiež zmenu polohy tlakových útvarov a synoptických situácií
 - Na druhej strane dôjde v súvislosti s oteplením k zvýšeniu obsahu vodnej pary v dolnej atmosfére asi o 5% na 1 °C
 - To sa prejaví tak na zmene charakteru tropických a mimotropických cyklón ako aj veľkosti búrkových oblakov
 - **Výskyt epizód sucha sa stane takmer celosvetovým problémom**
 - **Na Slovensku bude pokračovať pokles vodných zdrojov**

AKO SA TO PREJAVÍ NA SLOVENSKU ?

- Je isté, že bude naďalej pokračovať otepľovanie klímy, hoci to nebude proces rovnomerný, teda nebude sa otepľovať postupne každý rok:
 - Trend otepľovania bude asi o $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ za 10 rokov ($3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ r.}$)
 - Prirodzený rozdiel medzi Komárnom a Žilinou je $2\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Už doteraz sa oteplilo na Slovensku za 130 (40) rokov o $2\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Úhrny zrážok sa trochu zvýšia, viac na severe a v chladnom polroku, v lete sa na juhu asi znížia, pribudnú lejaky a sucho
 - Zmenia sa zimné podmienky, až do výšky 1000 m n.m. bude snehová pokrývka nestabilná, jarne povodne budú zriedkavé
 - Očakávame posun vegetačných pásiem, pribudne suchomilná vegetácia a nové biologické druhy z teplých krajín, aj choroby
 - **Anomálie v atmosférickej cirkulácii – ničivé sucho alebo povodne**
 - **Zmenil sa územný výpar v SR z 65% na 70% a bude ďalej rásť, spôsobí to nielen pokles prietokov riek ale aj výdatnosti prameňov**
-

ČO MÔŽEME UROBIŤ?

- V zásade máme 3 možnosti ako sa vyrovnat' s dôsledkami klimatických zmien (teda ľudmi spôsobenej klimatickej zmeny (KZ) + prirodzených zmien klímy) – **neuvádzam konkrétne príklady!**
- **1) Nebrať do úvahy existenciu ľudmi spôsobenej klimatickej zmeny** a všetky naše aktivity realizovať len tak ako keby existovali iba prirodzené zmeny – stabilné ako v minulosti (skeptická stratégia)
- **2) Pripravovať iba adaptačné opatrenia na zmiernenie dôsledkov klimatickej zmeny** – použiť stredné scenáre KZ pri menej dôležitých objektoch a najvyššie pri veľmi dôležitých (pesimistické scenáre)
- **3) Pripravovať aj opatrenia na spomalenie KZ (MITIGATION OPTIONS)** – redukovať emisie skleníkových plynov (GHGs) do atmosféry (hlavne opustením fosílnych palív a úsporami), zlepšiť zaobchádzanie s krajinou, zvyšovať biosférický záchyt GHGs (hlavne CO₂), znižovať emisiu GHGs z prirodzených a umelých zdrojov (rezervoárov), pomáhať v tom rozvojovým krajinám

Poznámka: Kým adaptačné opatrenia môže robiť nezávisle každý (štát, mesto, firma, občan...) bez ohľadu na zvyšok sveta, mitigačné opatrenia **musia byť koordinované na celej Zemi (úloha OSN)**, mal by sa pritom brať ohľad na historickú zodpovednosť, ekonomické podmienky a regionálnu spravodlivosť

ADAPTAČNÉ OPATRENIA

- Odporúča sa niekoľko krokov na realizáciu adaptačných opatrení, teda zmiernenie negatívnych a využitie pozitívnych dôsledkov klimatickej zmeny (KZ) – **neuvádzam detaily, tie sú k dispozícii aj v Nár. Správach SR o KZ!**
- **1) Predovšetkým potrebujeme odhadnúť možný budúci vývoj klímy aspoň v dvoch variantoch (scenáre klimatickej zmeny)** – dnes už scenáre denných hodnôt klimatických a hydrologických prvkov v období 1951-2100, ktoré sú určené rôznymi scenármi emisie GHGs a zmien krajiny ako aj rôznymi fyzikálnymi modelmi všeobecnej cirkulácie atmosféry a oceánov; obdobie 1951-2017 sa používa na kontrolu modelových scenárov a meraných údajov
- **2) Analýza zraniteľnosti na klimatickú zmenu a možných dôsledkov v rôznych sektoroch** – pozitívne a negatívne dôsledky v závislosti od prijatých scenárov KZ (vždy stredný, pesimistický a optimistický scenár)
- **3) Požiadavky na adaptačné opatrenia (AO) sú založené väčšinou na ekonomických odhadoch (cost-benefit)** – teda ekonomické vyhodnotenie nákladov a ziskov v rôznych sektoroch v porovnaní so stavom bez (AO); ochrana prírodných ekosystémov sa rieši samostatne inými metódami
- **4) Adaptačné opatrenia môžu byť riešené a prijímané individuálne: sektory, štáty, obce, regióny, podniky, občania (bez ohľadu na zvyšok sveta)**
- **5) Adaptačné opatrenia môžu byť ekonomicky vyhodnocované aj priebežne, no najmenej v 50-ročnom horizonte** – KZ sa prejavuje iba pomalými (no vcelku stabilnými) zmenami parametrov (napríklad +0,2 až +0,4 °C za 10 rokov) a aj iných enviro prvkov; za 50 rokov je to ale oteplenie klímy o 1 až 2°C!

OBNOVITELNÉ ZDROJE ?

- Sa stali predmetom sporov, vášní a diskusie najmä po roku 2005 (spolu 19% celkovej energie a 22% elektrickej energie (na Slovensku spolu iba 9% v r. 2012, 11% v r. 2017)) !
- Najviac z OZE pri výrobe elektrickej energie predstavovali veľké vodné elektrárne (58%, z celkovej energie len 3,8%, všetko z r. 2012) !
- Priame spaľovanie biomasy sa podieľa 47% z OZE (z celkovej energie 9%) a tepelná energia z priameho využitia slnečného žiarenia takmer 7% (neoverené)!
- Iné využitie OZE: biomasa na výrobu elektrickej energie, na výrobu bioetanolu a na výrobu bionafty, veterná energia, fotovoltaické články, malé hydrocentrály, geotermálne teplo priamo a na výrobu elektrickej energie ! (z celkovej energie slnko, vietor, geotermálna asi 2%) !
- Využitie biomasy ako energetického zdroja sa môže vymknúť spod kontroly po neuvážených strategických rozhodnutiach !
- N_2O je asi 300-krát účinnejší (silnejší) skleníkový plyn ako CO_2 !
- Existuje možnosť priameho použitia odpadovej biomasy na vykurovanie za predpokladu vhodného predspracovania (odpad v lesoch, v poľnohospodárstve a i.), tiež je možné biomasu uplatniť ako surovinu v stavebníctve a iných odvetviach, čo na dlhú dobu odčerpá značné množstvo atmosférického uhlíka
- **Ešte lepšia alternatíva sa určite skrýva za tajomným slovom úspory. Nie je neznámym faktom nízka energetická efektívnosť viacerých aktivít na Slovensku, uplatnenie moderných šetrných technológií a zrušenie nekvalitných tovarov je najlepšie riešenie !**
- **Mala by platiť zásada – najprv úspory a efektívnosť a potom využitie OZE**
- Iné možnosti – predovšetkým v sfére individuálnych spotrebiteľov !

ZÁVERY

- Najspoľahlivejšie sú scenáre možných zmien teploty vzduchu, scenáre zmien úhrnov zrážok majú už značný rozptyl, no základný vývoj je jednotný – rast v zime a na severe SR, malé zmeny v lete – potvrdzujú to aj doterajšie merania
- Regionálne cirkulačné modely poskytujú spoľahlivejšie výsledky – majú realistickejšiu orografiu a aj hydrologický cyklus.
- Vždy je potrebné použiť viaceré modely a emisné scenáre
- Ďalší vývoj týchto metód budeme smerovať k analýze časovej a priestorovej variability prvkov hydrologickej bilancie
- **Pokiaľ ide o svetovú energetiku, očakáva sa skončenie využívania fosílnych palív do roku 2060, prípadne len také využívanie aký je trvalý záchyt CO₂. OZE určite nepokryjú požiadavky na energiu, preto sú potrebné úspory (nové technológie, tovary s dlhou dobou využívania, recyklácia, znižovanie zbytočnej spotreby a i.). Využívanie JE sa považuje len za prechodné riešenie (asi 50 rokov).**
- **Slovensko má dobré vyhliadky, najmä kvôli JE a opusteniu využívania uhlia ako zdroja energie, zaostávame vo využívaní OZE a aj v recyklácii. Efektívnosť využitia energie sa zlepšuje.**

ĎAKUJEM ZA POZORNOSŤ

Ďalšie informácie z nášho výskumu nájdete
v literatúre a na stránkach:

www.milanlapin.estranky.sk

Alebo použite:

E-mail: lapin@fmph.uniba.sk