

PODIEL ČLOVEKA NA GLOBÁLNEJ KLIMATICKEJ ZMENE Z POHL'ADU FYZIKY KLIMATICKÉHO SYSTÉMU ZEME

Milan Lapin

pripravené s využitím prednášok OMK FMFI UK a údajov SHMÚ

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky,

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

www.milanlapin.estranky.sk „dokumenty na stiahnutie“

Prednáška pre záujemcov, Univerzita Komenského, 7.X.2022

Základné pojmy - Definície M a K a H - SHMÚ

- **Meteorológia** - Veda o atmosfére Zeme, jej zložení, vlastnostiach a o procesoch v nej prebiehajúcich – **o počasí (alebo o aktuálnom stave atmosféry) a jeho prognóze do 15 dní**
- **Klimatológia** - Veda o podnebí Zeme, o súvislostiach a príčinách vzniku a zmien určitých klimatických podmienok, o vplyvoch klímy na objekty činnosti človeka a naopak – **o dlhodobom režime počasia (aspoň 30 rokov) vo vzťahu ku geografickým podmienkam, ekosystémom a k socio-ekonomickej sfére**
- **Hydrológia** – veda o zákonitostiach časového a priestorového rozdelenia obehu vody na Zemi, tiež o jeho fyzikálnom chemickom a biologickom režime **(dôležité sú vzájomné vzťahy medzi Meteorologickým, Klimatickým a Hydrologickým režimom v prírode)**
- **Začneme stručne definíciami klimatických zmien a človekom spôsobenej klimatickej zmeny a prejdeme k dôsledkom a scenárom**
- **Povieme si ale aj o tom na čo sa podklady/výstupy z MKH používajú**

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)
- **Kolísanie klímy** - prirodzené kolísanie 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, zmeny využívania krajiny)

VEDECKÁ TEÓRIA KLIMATICÝCH ZMIEN

- Fyzika, chémia a biológia klimatických zmien, teda klimatickej zmeny (definícia už bola) a prirodzených zmien klímy – ale aj:
- **Socio-ekonomické súvislosti a dôsledky** – aj využívanie fosílnych palív, zmeny vo využívaní krajiny, poľnohospodárstvo, lesy 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

Základné pojmy

System-Procesy-Faktory

- **Klimatický systém** - Atmosféra, Hydrosféra, Kryosféra, Litosféra, Biosféra (Človek, Noosféra)
- **Klimatotvorné procesy** - Fyzikálne a iné procesy v atmosfére, hydrosfére a v aktívnej vrstve zemského povrchu sú výsledkom pôsobenia klimatotvorných faktorov v čase a v priestore
- **Procesy** deterministické a stochastické
- **Klimatotvorné faktory** - Astronomické, Geografické, Cirkulačné, Antropogénne
- **Dynamika pôsobenia klimatotvorných faktorov** - Systém môže byť Tranzitívny, Netranzitívny, Pseudotranzitívny – detaily neskôr

TROCHU VIAC O TEÓRII SYSTÉMOV VŠEOBECNE

- **Systém a jeho okolie**
- **Kompozitný, interaktívny, reštriktívny**
- **Intenzívne a extenzívne vlastnosti (premenné)**
- **Izolovaný, uzavretý, otvorený, kaskádový systém**
- **Disipatívny, cyklický, náhodne fluktuujúci OS**
- **Externá a interná časť systému**
- **Pozitívne a negatívne spätné väzby**
- **Otvorený náhodne fluktuujúci systém**
- **Turbulentný režim so stabil. hraničnými podmien.**
- **Štatistický prístup analýzy – deterministický chaos**

DETAILNEJŠIE O KLIMATICKOM SYSTÉME ZEME

- ✓ **Prostredie, kde prebiehajú klimatotvorné procesy; rýchlosť zmien; možnosti modelovania**
- Atmosféra – „well mixed“ a iné plyny (50%)
- Hydrosféra – voda v oceánoch a i. (20%)
- Kryosféra – ľadovce, permafrost, sneh a i.
- Litosféra – 2-50 m vrchná vrstva Zeme
- Biosféra – podieľa sa aj na Litosfére
- Noosféra – človek a jeho aktivity

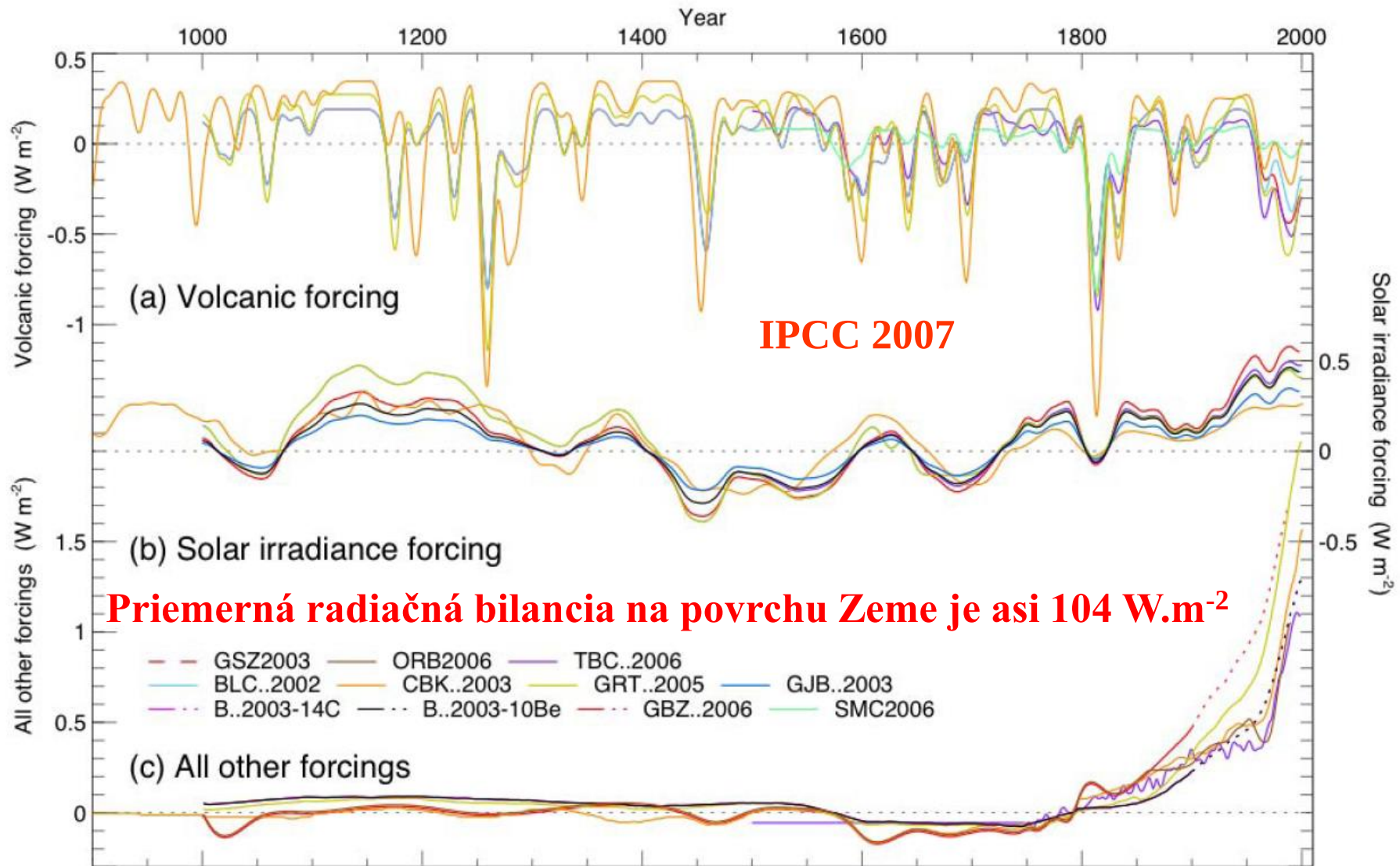
DETAILNEJŠIE O KLIMATOTVORNÝCH FAKTOROCH

- ✓ **Podmieňujú existenciu klimatotvorných procesov**
 - Astronomické – stabilné a pravidelné
 - Geografické – trochu menej stabilné
 - Cirkulačné – v atmosfére a oceánoch
 - Antropogénne – najviac sledované
- Externé – zväčša dlhodobu stabilné
- Interné – predovšetkým spätné väzby

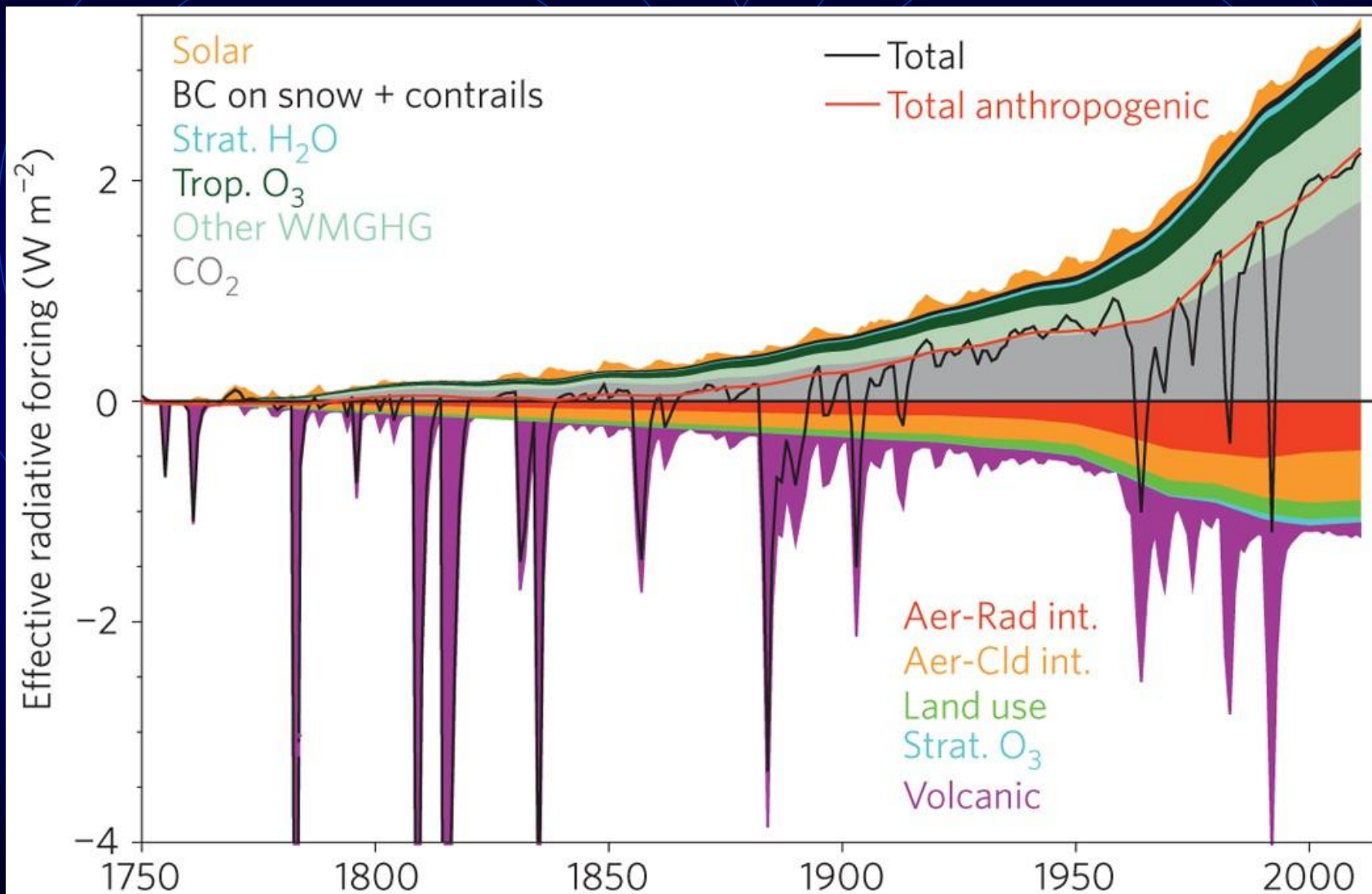
DETAILNEJŠIE O KLIMATOTVORNÝCH PROCESOCH

- **Viac-menej deterministické** – „forced“ vnútená variabilita klímy
- **Viac-menej stochastické** – voľná variabilita klímy
- **Dynamika procesov** – tranzitívne (1 rovnovážny stav), netranzitívne (2 a viac rovnovážnych stavov), takmer netranzitívne (zmiešané, väčšina procesov)
 - **Tranzitívnosť** vyplýva zo stability určitých stavov v KSZ
 - **Netranzitívnosť** je prirodzenou vlastnosťou väčšiny prírodných procesov – teória chaosu
 - **Takmer netranzitívnosť** otvára možnosť použitia tak analytických ako aj štatistických metód

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

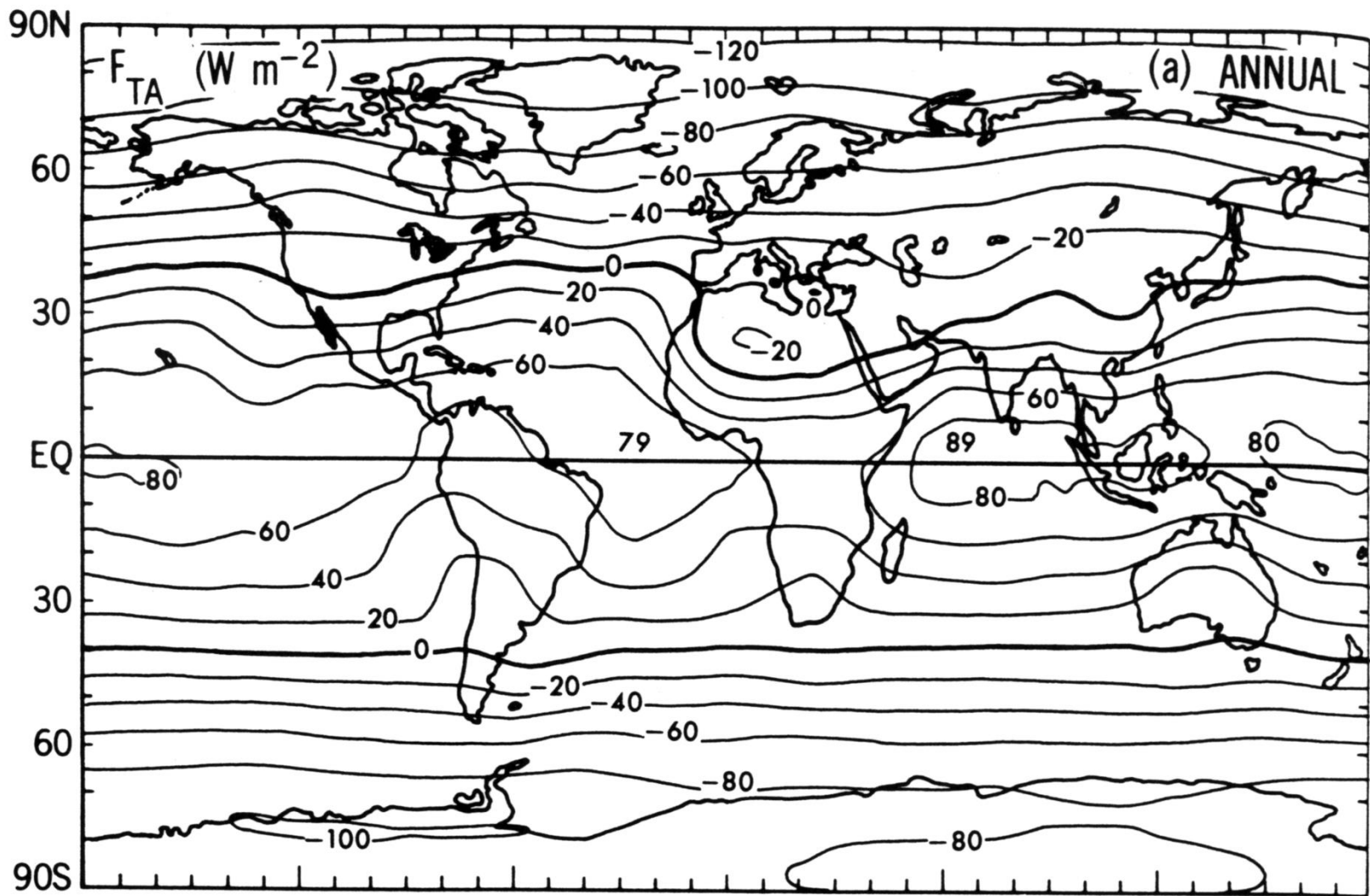


HLAVNÉ FAKTORY VPLÝVAJÚCE NA GLOBÁLNU KLÍMU OD ROKU 1750 – VULKANICKÉ ERUPCIE, SLNEČNÁ AKTIVITA, VPLYV ČLOVEKA a niektoré iné

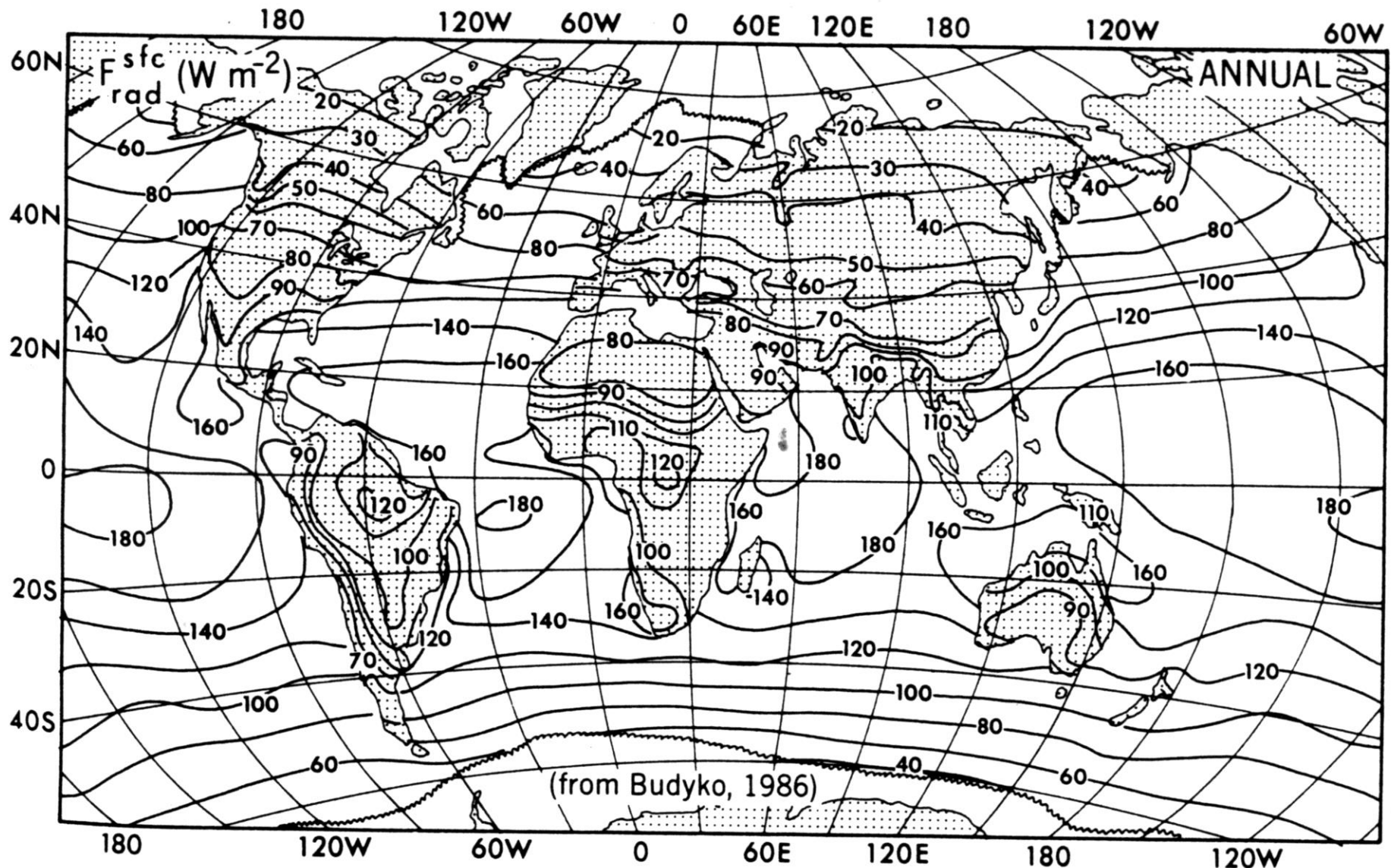


Priemerná radiačná bilancia na povrchu Zeme je asi 104 W.m^{-2}

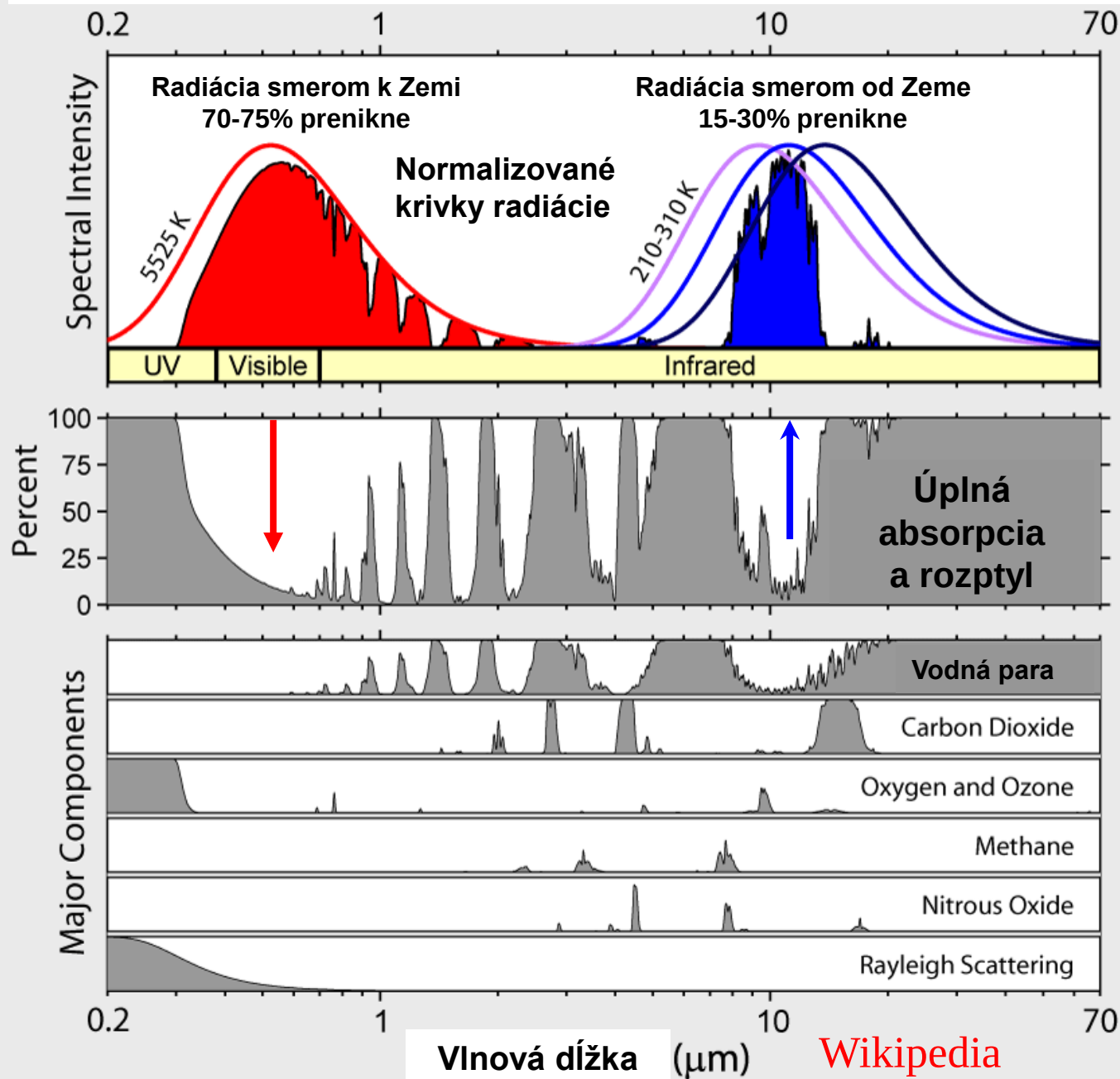
Stredný ročný tok B na hornej hranici atmosféry



Stredný ročný tok B na zemskom povrchu



Radiácia prenikajúca cez atmosféru Zeme



Jednotlivé skleníkové plyny majú rozdielny podiel na celkovej absorpcii, navyše sa pásy absorpcie prekrývajú (PSE 33 °C)

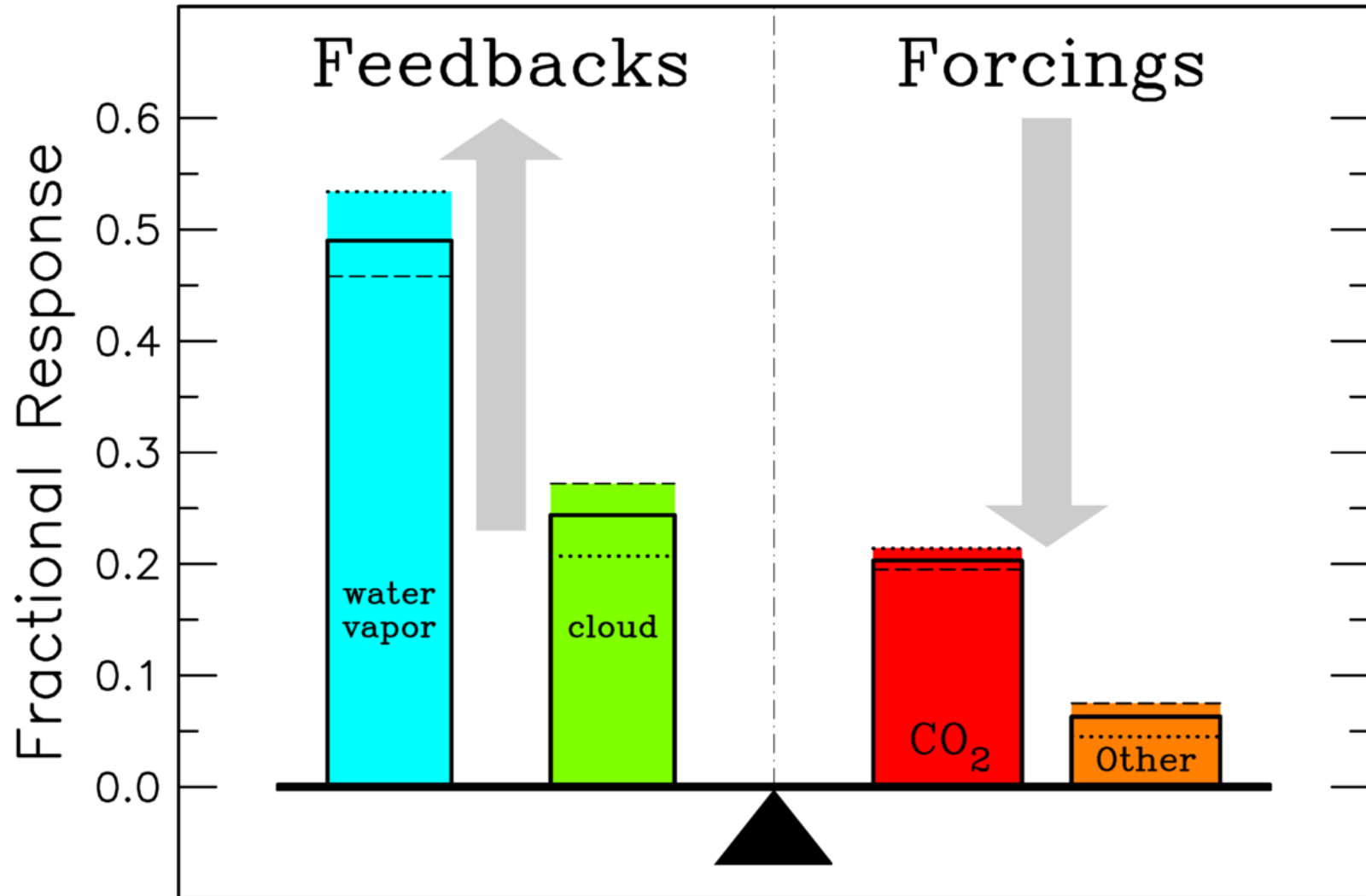
Ak by sme odstránili vodnú paru, klesol by skleníkový efekt o 36% (o 12 °C), ak by sme odstránili CO₂, klesol by o 9 % (o 3 °C)

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

Priemerná hodnota ovplyvňovania skleníkového EA

Prirodzený skleníkový efekt ohrieva prízemnú atmosféru o 33 °C



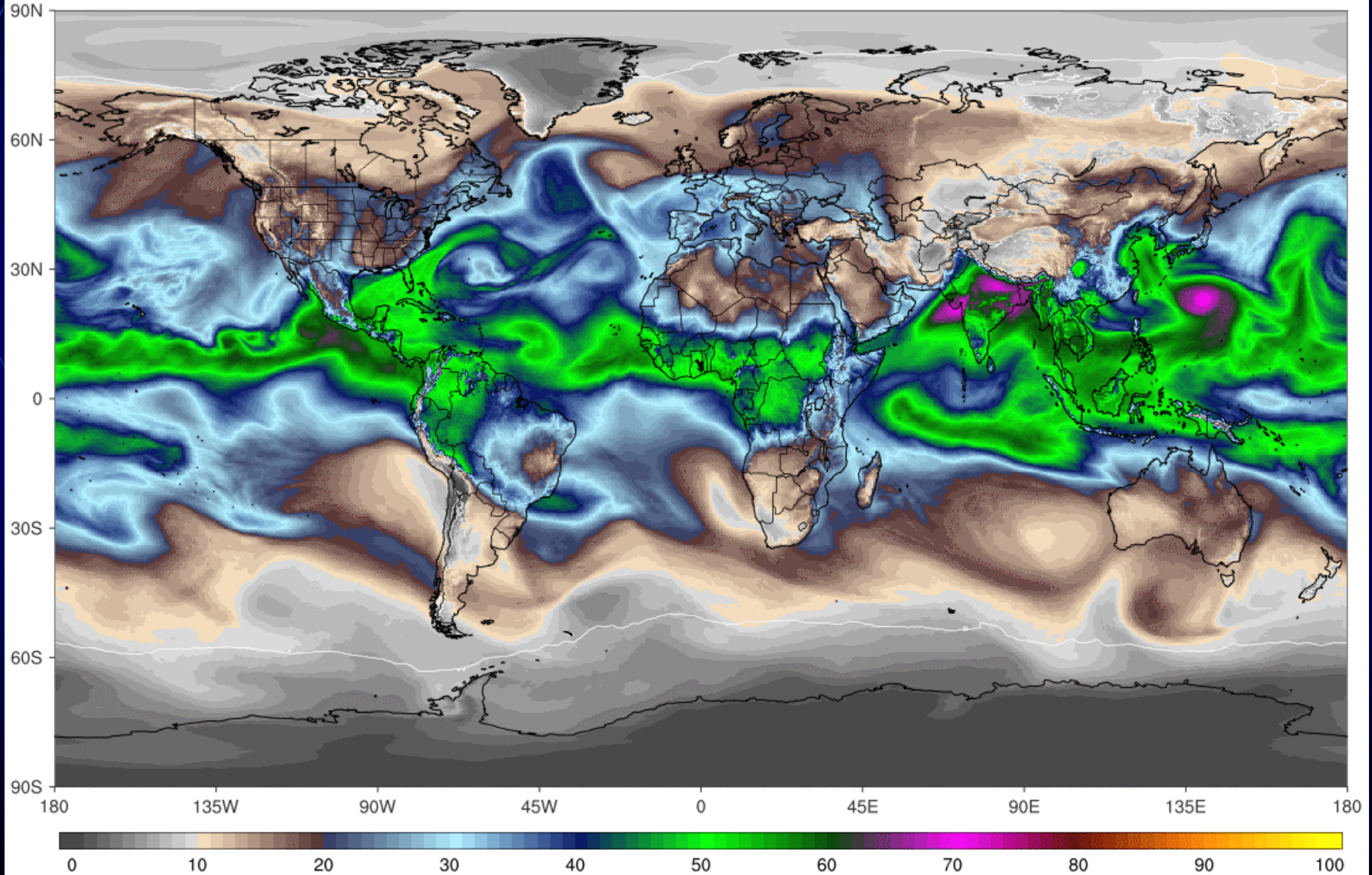
3-denný priemer množstva vodnej pary v atmosfére v kg/m² 13-15.IX.2022 (v trópoch 20-krát viac ako v PO)

GFS 3-day Avg Precipitable Water (kg m⁻²), 2m T 0°C (white)

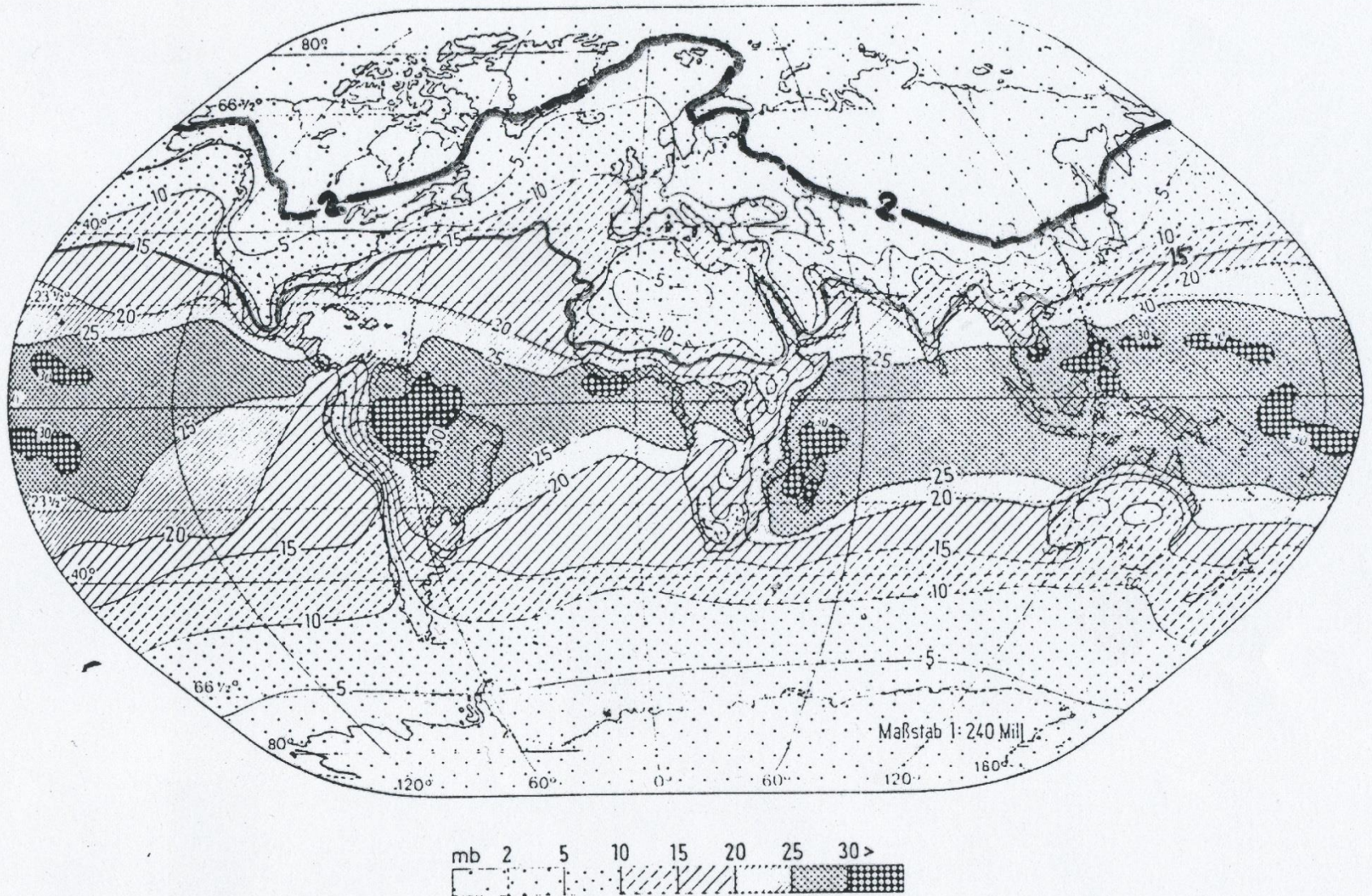
Tuesday, Sep 13, 2022

ClimateReanalyzer.org

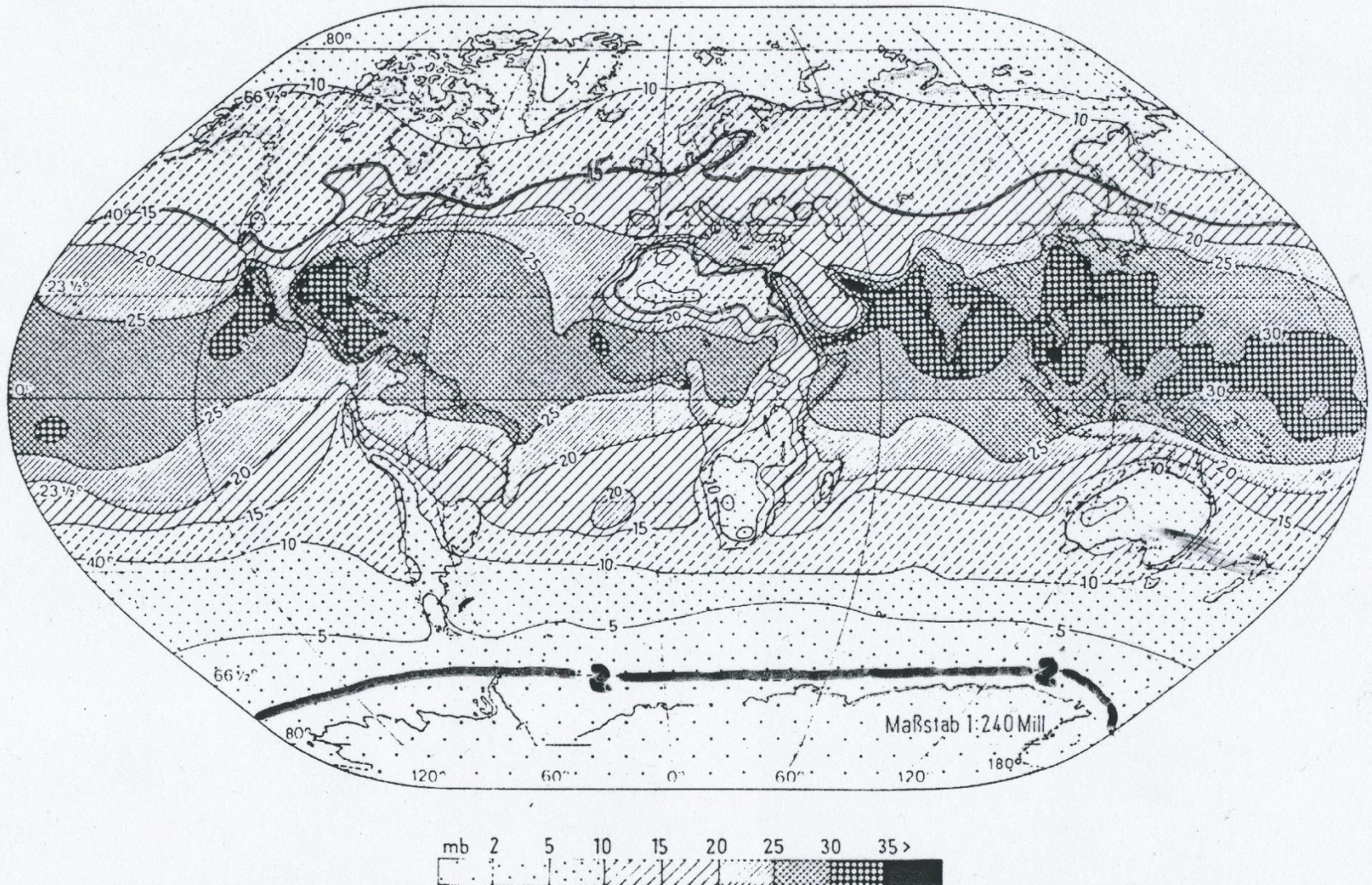
Climate Change Institute | University of Maine



Priemerný tlak vodnej pary (hPa) – Január 1931-1960

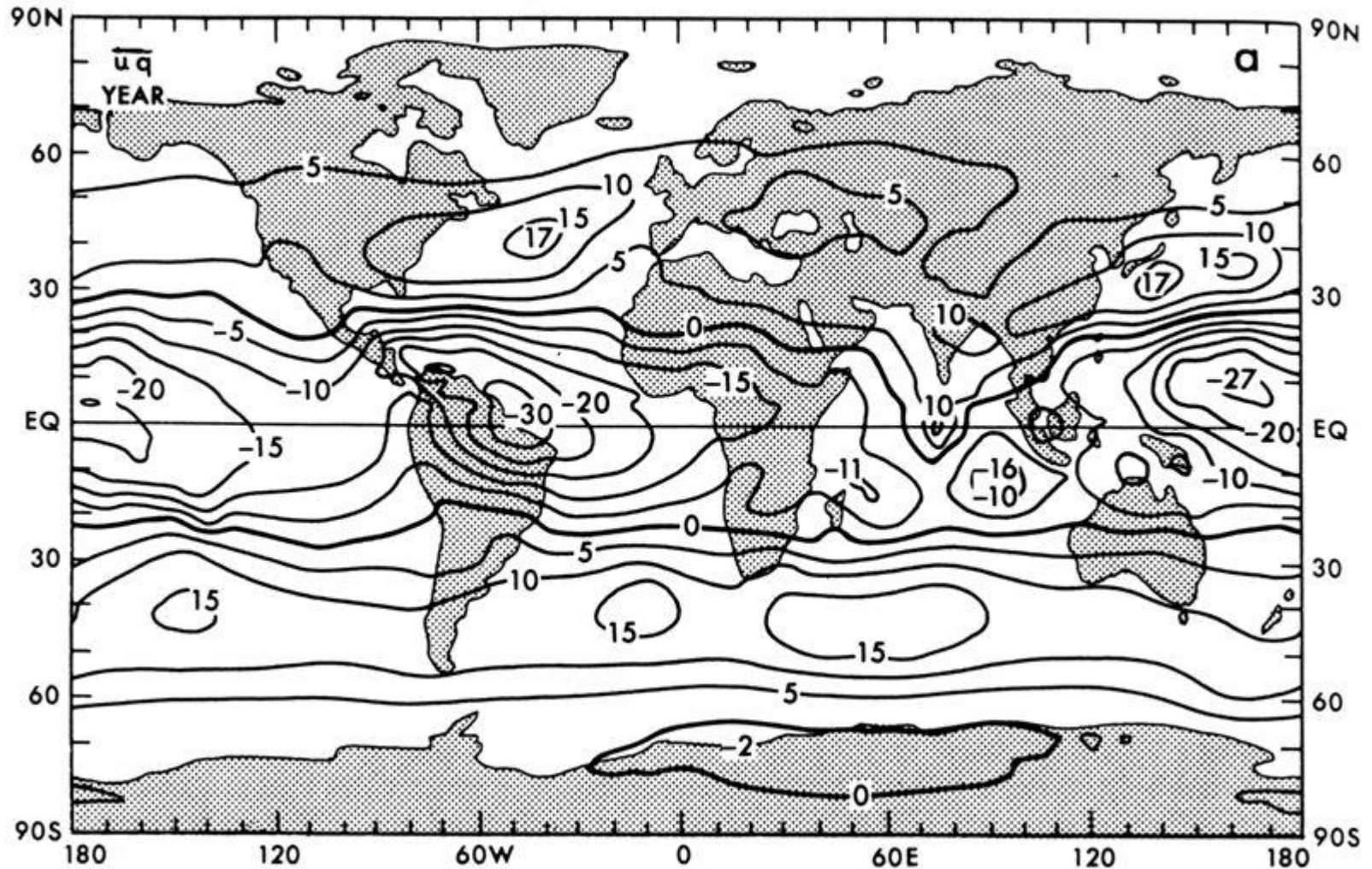


Priemerný tlak vodnej pary (hPa) – Júl 1931-1960



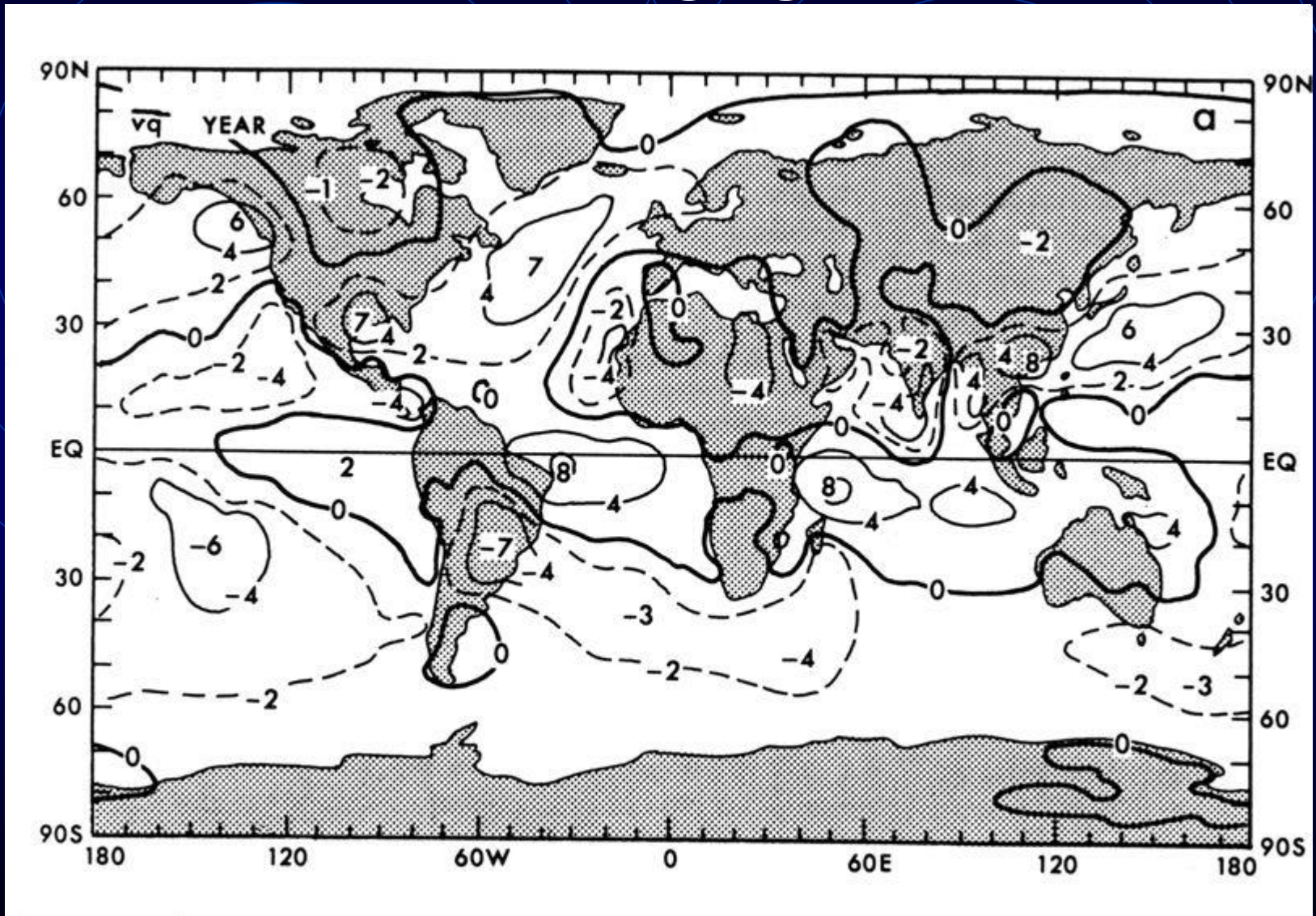
Priemerný zonálny transport vodnej pary v $\text{m.s}^{-1}.\text{g.kg}^{-1}$ (pri z.p. $s[\text{g.kg}^{-1}]$)

$s =$
2
8
13
18
12
6
2
1



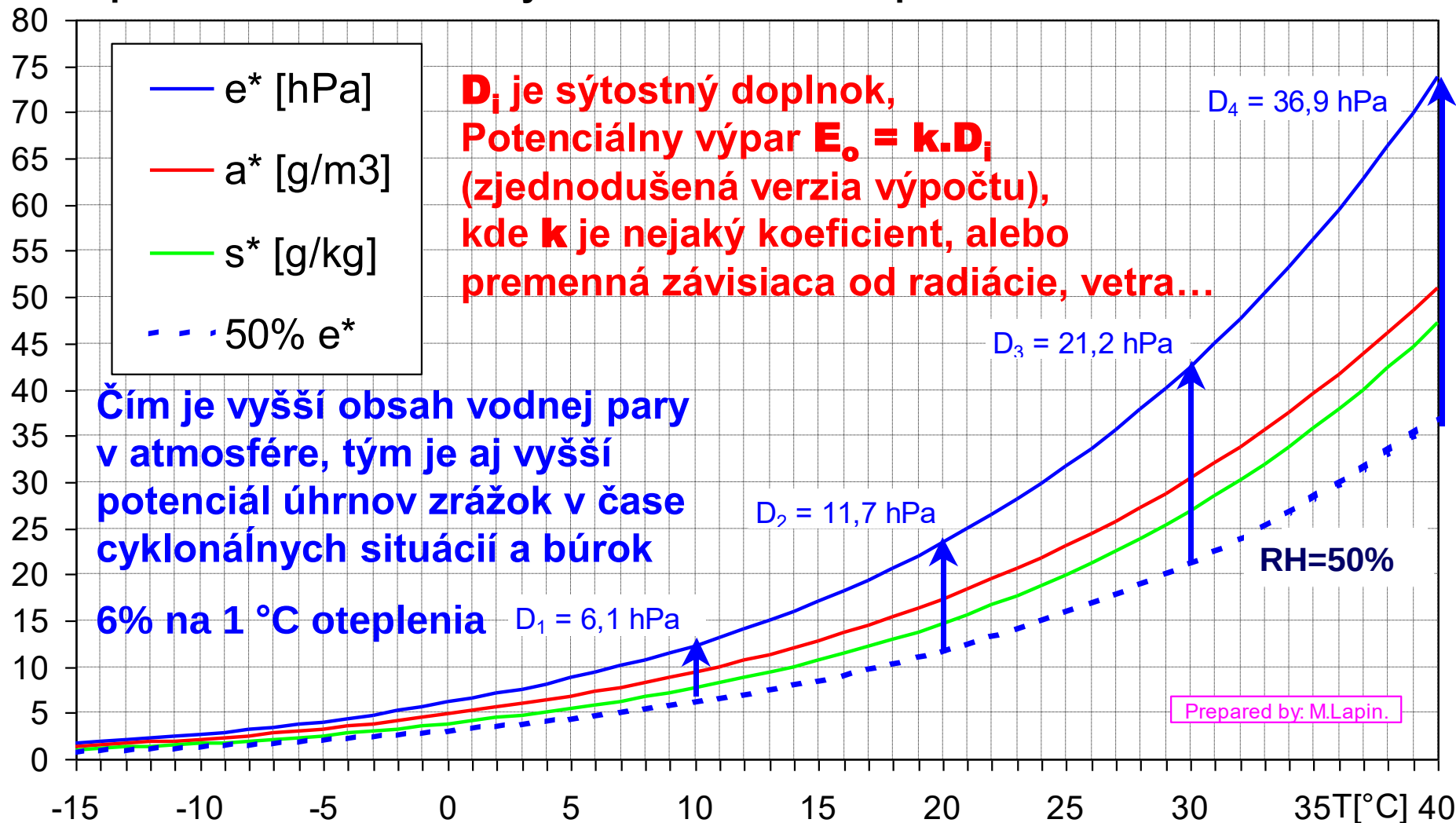
Priemerný meridionálny transport vodnej pary v $\text{m.s}^{-1}.\text{g.kg}^{-1}$

S=
2
8
13
18
12
6
2
1



VLHKOSŤ VZDUCHU A TEPLOTA VZDUCHU

Dependence of air humidity variables on air temperature at about 1000 hPa

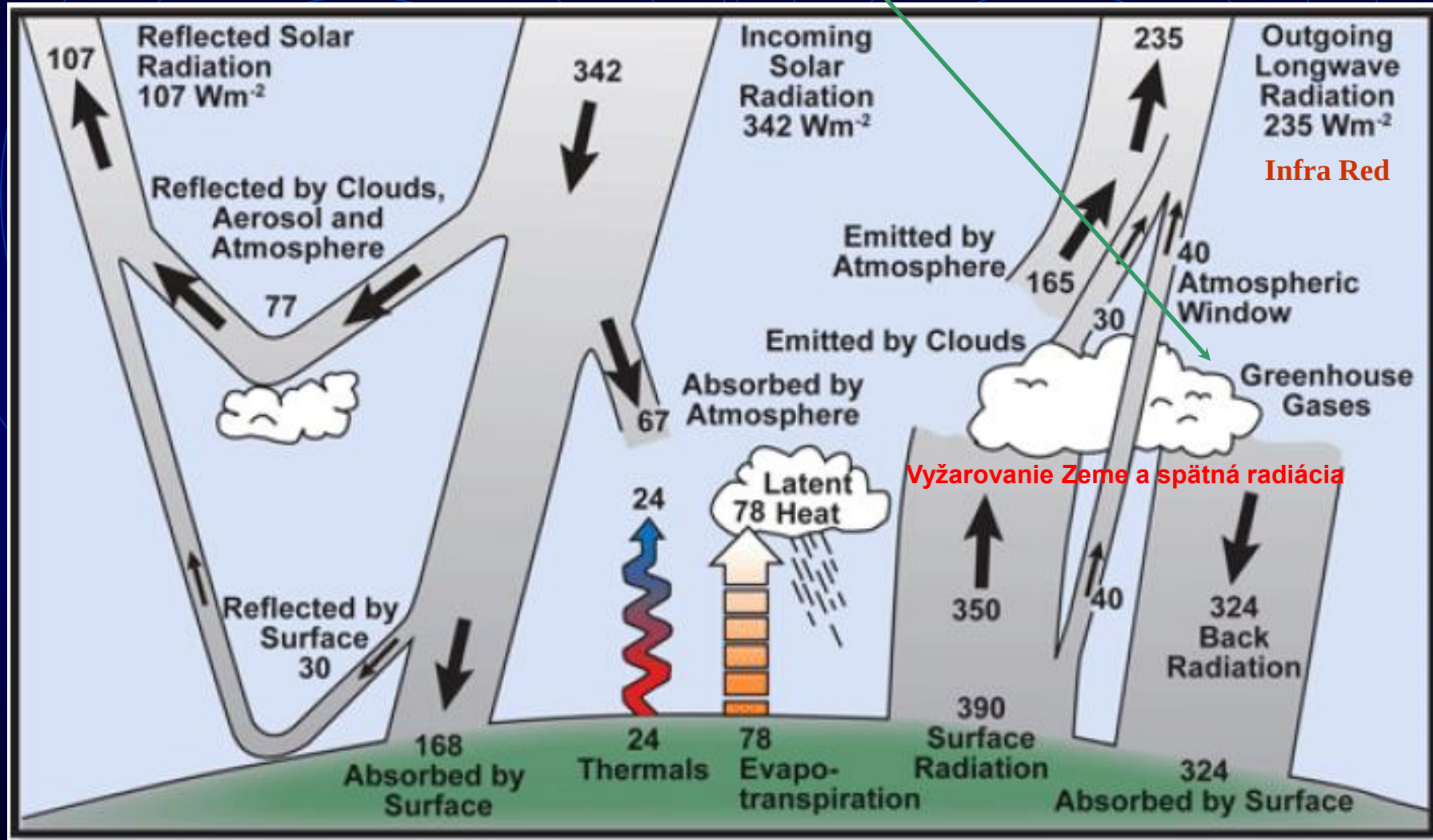


Ročné hodnoty energetickej bilancie Zeme a atmosféry

Albedo

SLNEČNÁ
RADIÁCIA

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

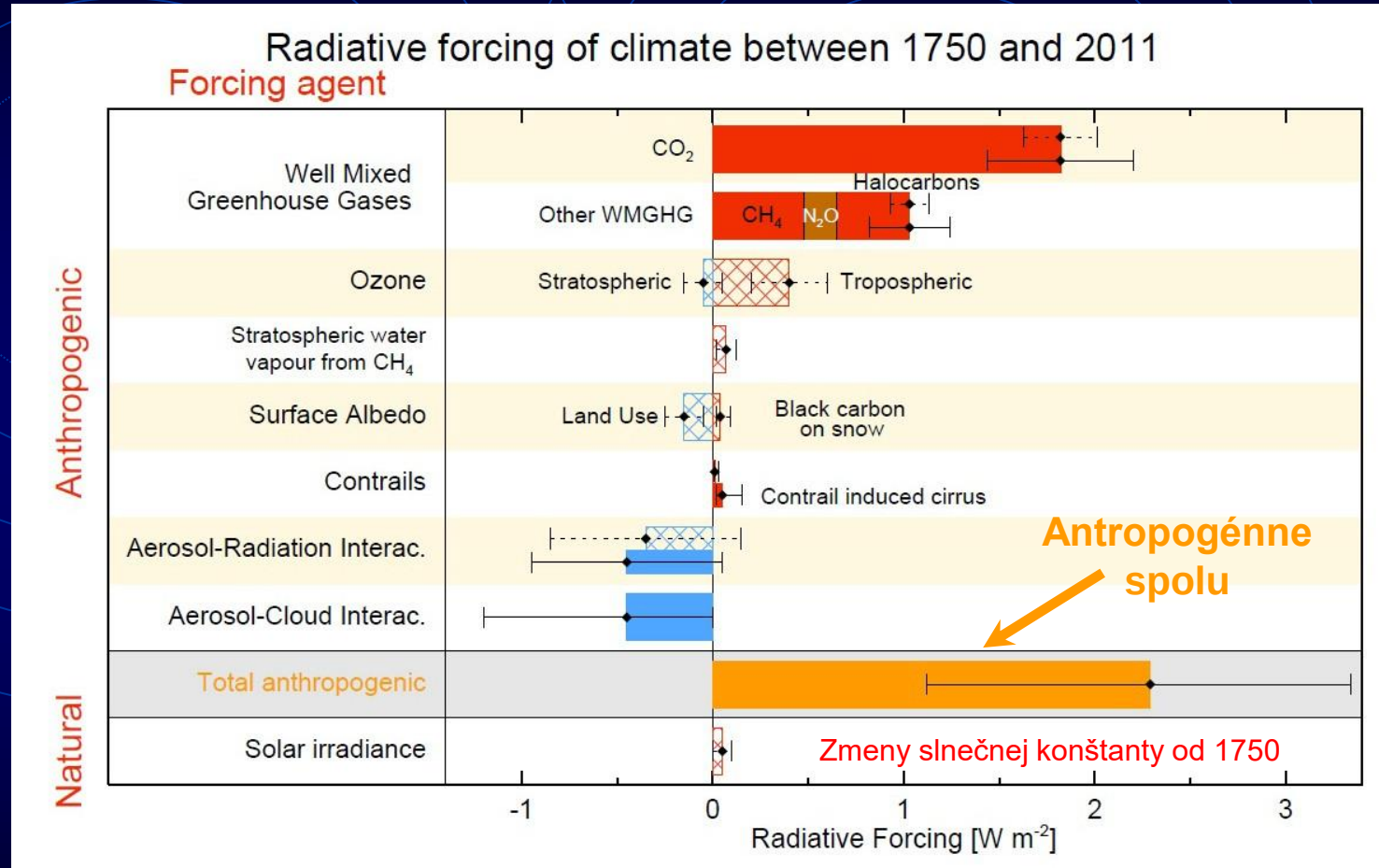


PODIEL VŠETKÝCH ANTROPOGÉNNÝCH VPLYVOV NA GLOBÁLNU KLÍMU OD ROKU 1750 (IPCC 2013)

Skleníkové plyny majú kladný vplyv na globálne otepľovanie

Aerosóly a zmeny využívania krajiny majú ochladzujúci účinok na globálnu klímu

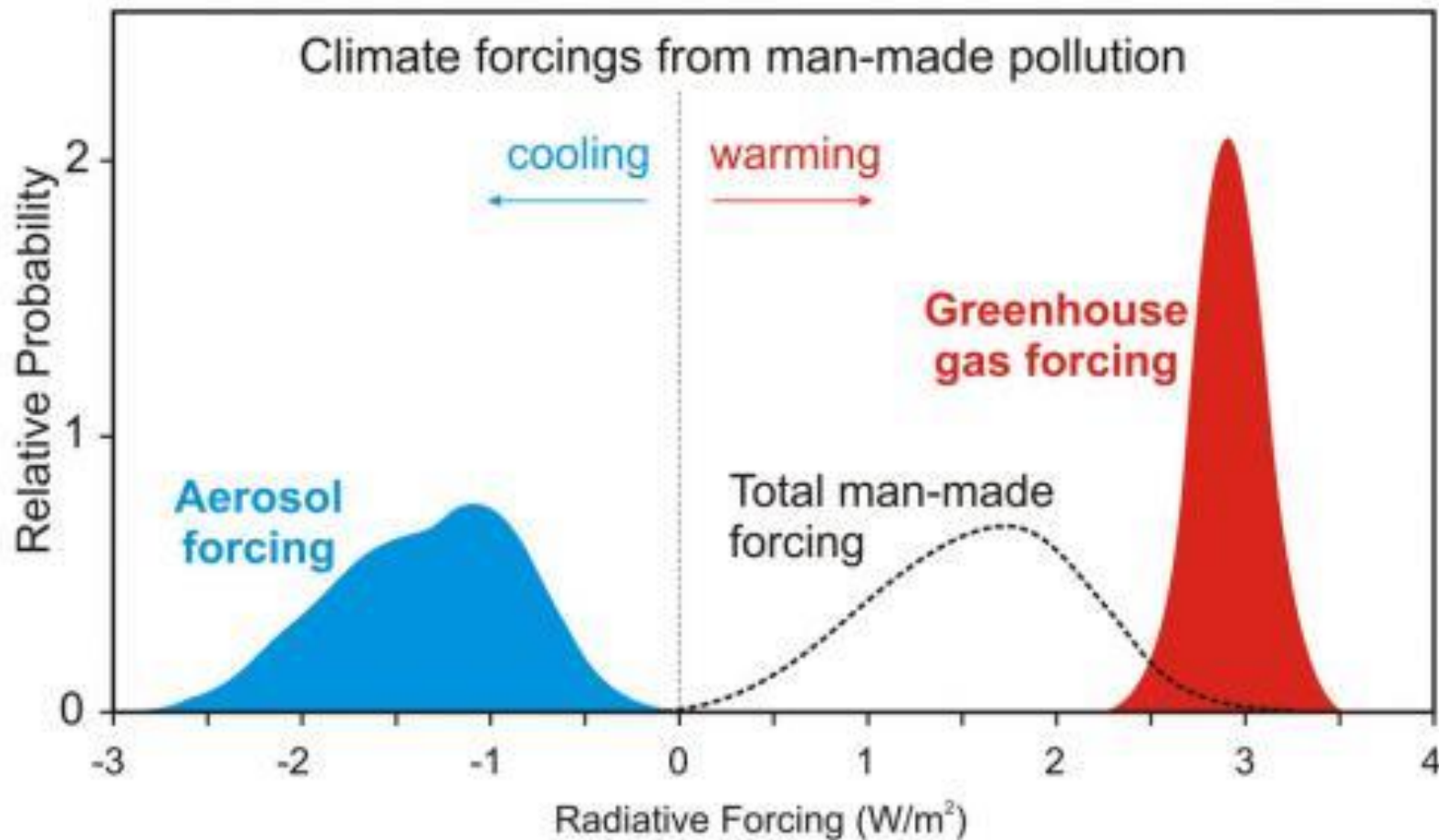
Porovnanie antropogénnych vplyvov s rastom slnečnej konštanty od roku 1750



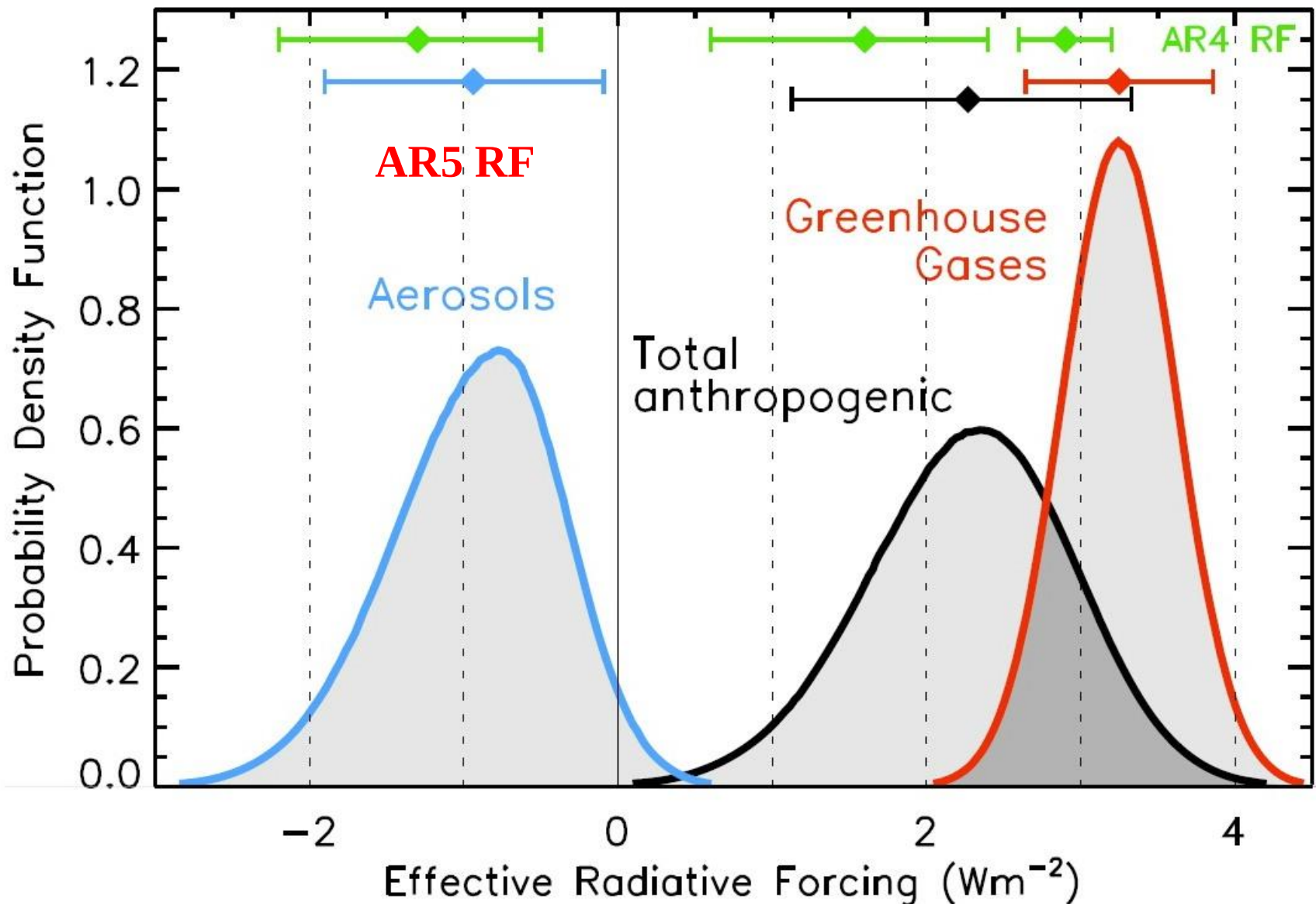
Priemerná radiačná bilancia na povrchu Zeme je asi 104 W.m⁻²

Priemerná hodnota ovplyvňovania skleníkového EA

We have a high understanding of the warming effect of greenhouse gases



Priemerná hodnota ovplyvňovania skleníkového EA

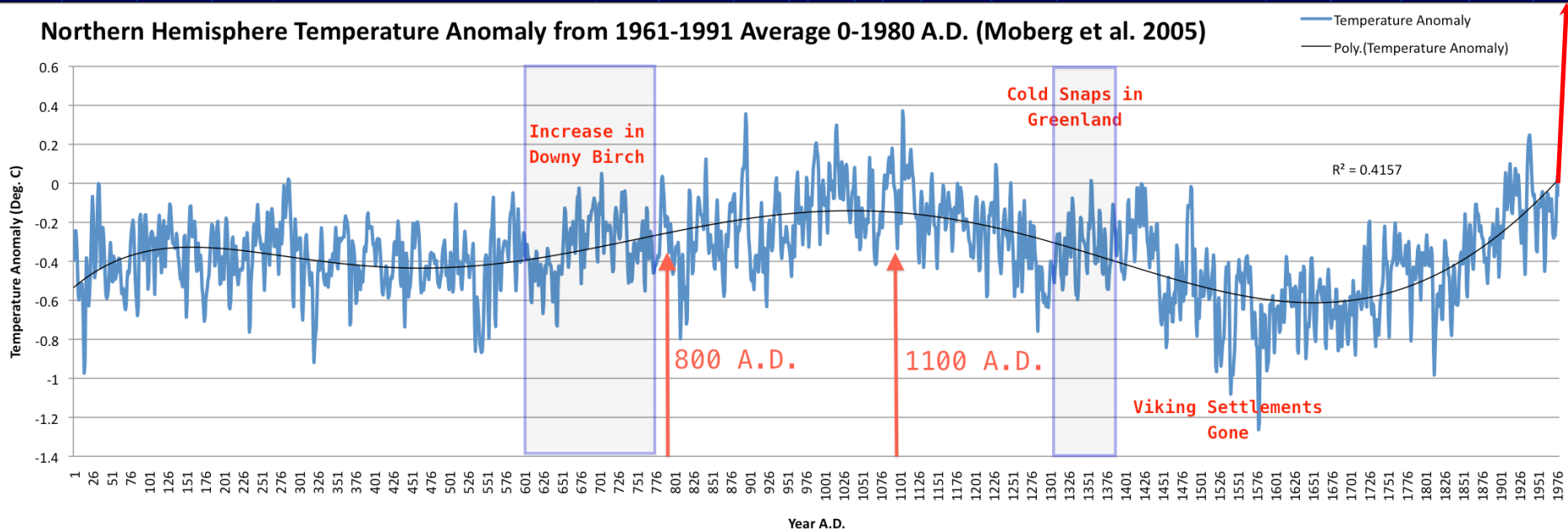


EŠTE K ÚVODU DO PROBLEMATIKY ADAPTÁCIE NA KLIMATICKÚ ZMENU

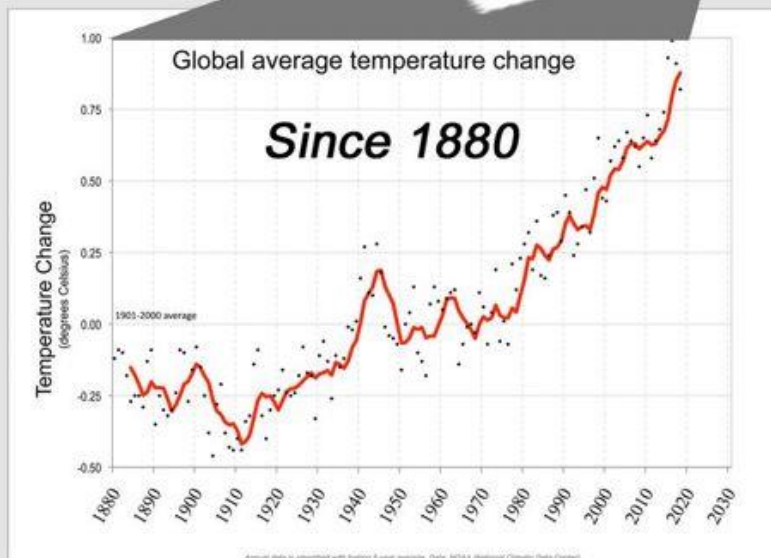
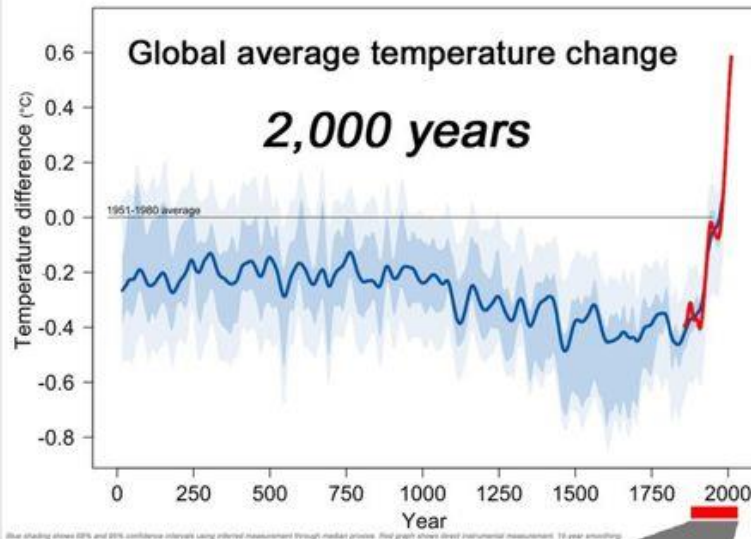
- Zmeny a premenlivosť klímy ako aj ich možné dôsledky sa dostávajú do centra pozornosti najmä v obdobiach s výskytom rôznych extrémov počasia. Za mimoriadny až extrémny vývoj počasia sa považujú aj prípady s pomerne častým výskytom (aj častejšie ako raz za 10 rokov v priemere) a prehliadajú sa **systematické zmeny režimu počasia**. Málokedy sa aj v odborných kruhoch analyzujú korektné štatistické charakteristiky zmien a variability klímy z pohľadu možných škodlivých vplyvov.
- Hoci majú zainteresovaní odborníci viac znalostí z teórie zmien a premenlivosti klímy ako laici, aj oni sú niekedy zaťažení iba spomienkami na predchádzajúce 2 - 3 roky (príklady neskôr)
- 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 všetkých opatrení, o čo sa OSN snaží neúspešne na COP 1-26**. Adaptačné opatrenia ale väčšinou neprispievajú k mitigačným opatreniam.

ODCHÝLKY PRIEMEROV TEPLOTY VZDUCHU NA SEVERNEJ POLOGULI (OBDOBIE 0-1980) OD DP 1961-1990 (Moberg, 2005, **zvýšenie do 2020**)

Northern Hemisphere Temperature Anomaly from 1961-1991 Average 0-1980 A.D. (Moberg et al. 2005)

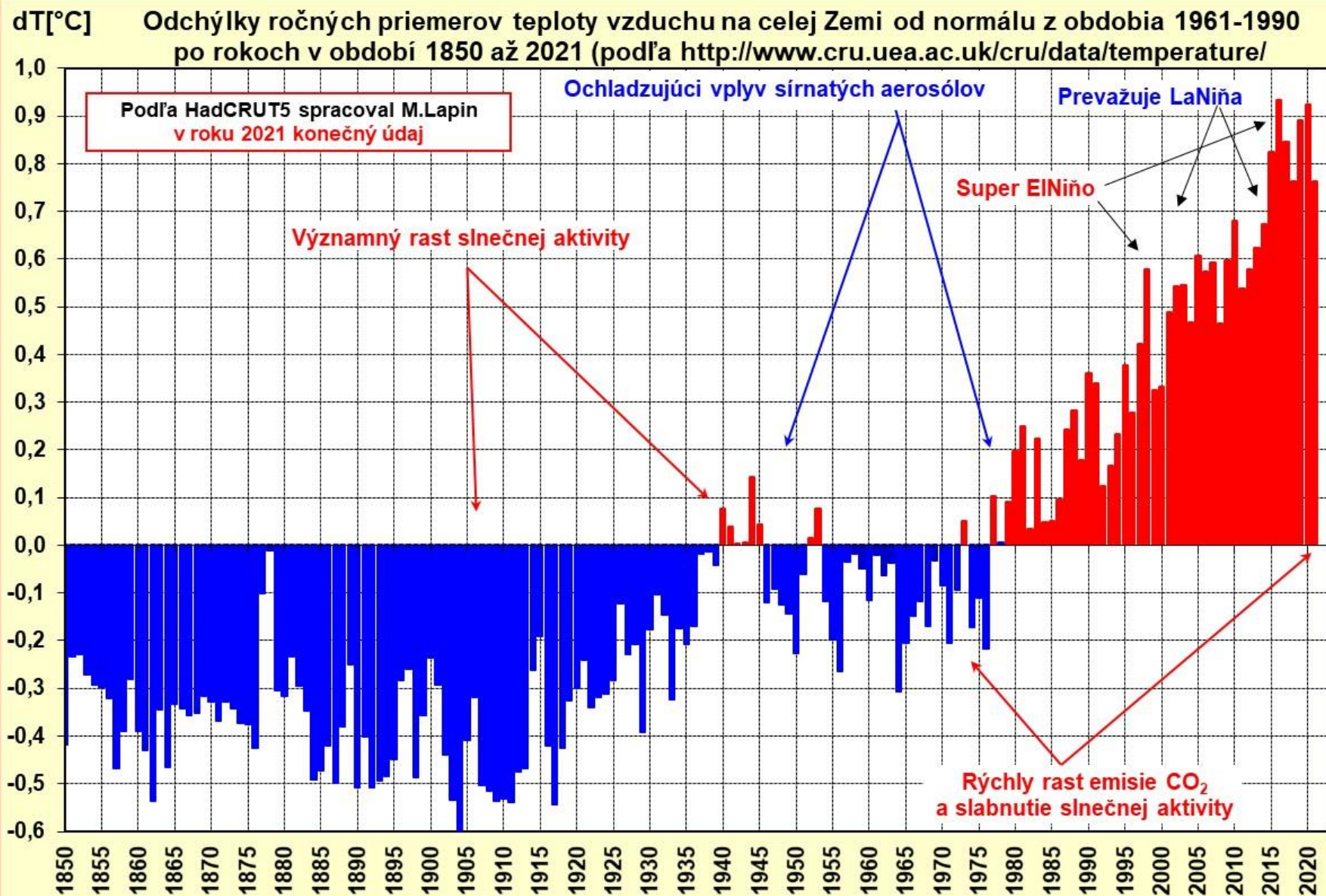


ODCHÝLKY PRIEMEROV TEPLoty VZDUCHU NA ZEMI (OBDOBIE 0-2018) OD DP 1951-1980 (IPCC, NASA, zmena v období 1880-2018)

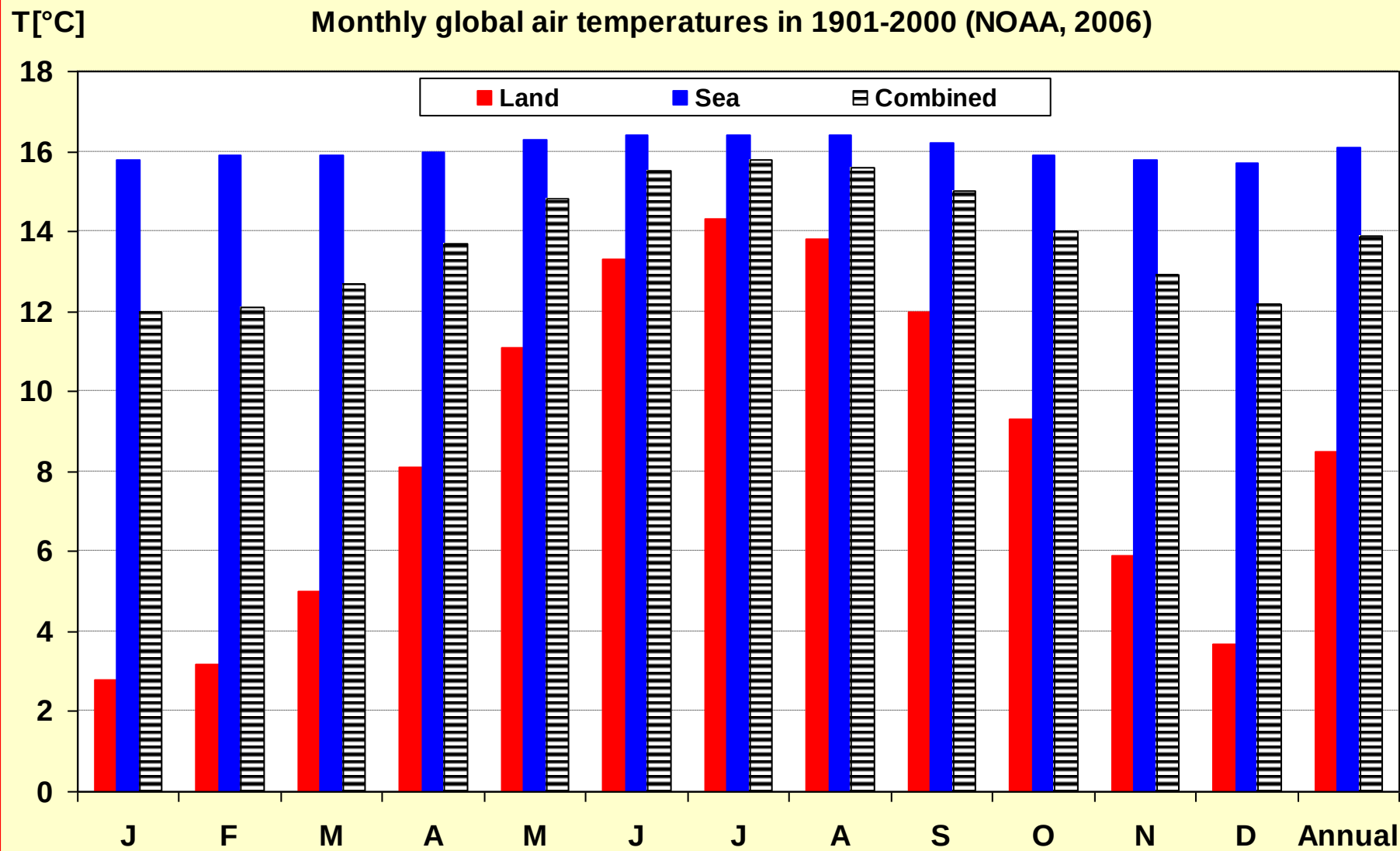


Tento historický graf priemernej teploty sem uvádzam najmä preto, lebo sa často tvrdí, že také oteplenie sme tu už mali celkom nedávno

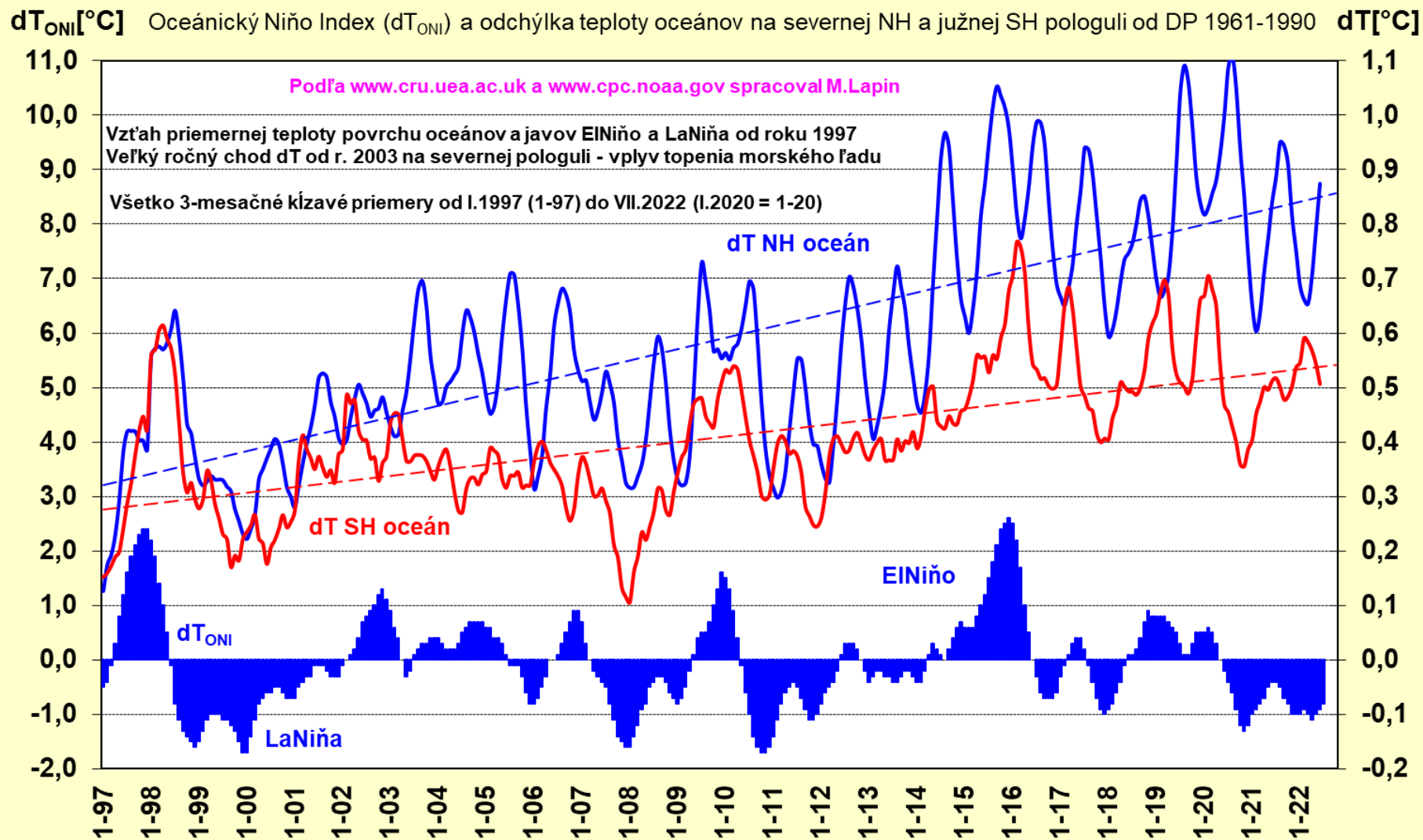
ODCHÝLKY ROČNÝCH PRIEMEROV TEPLOTY VZDUCHU NA ZEMI OD NORMÁLU 1961-1990 PODĽA STREDISKA HADCRU (UK)



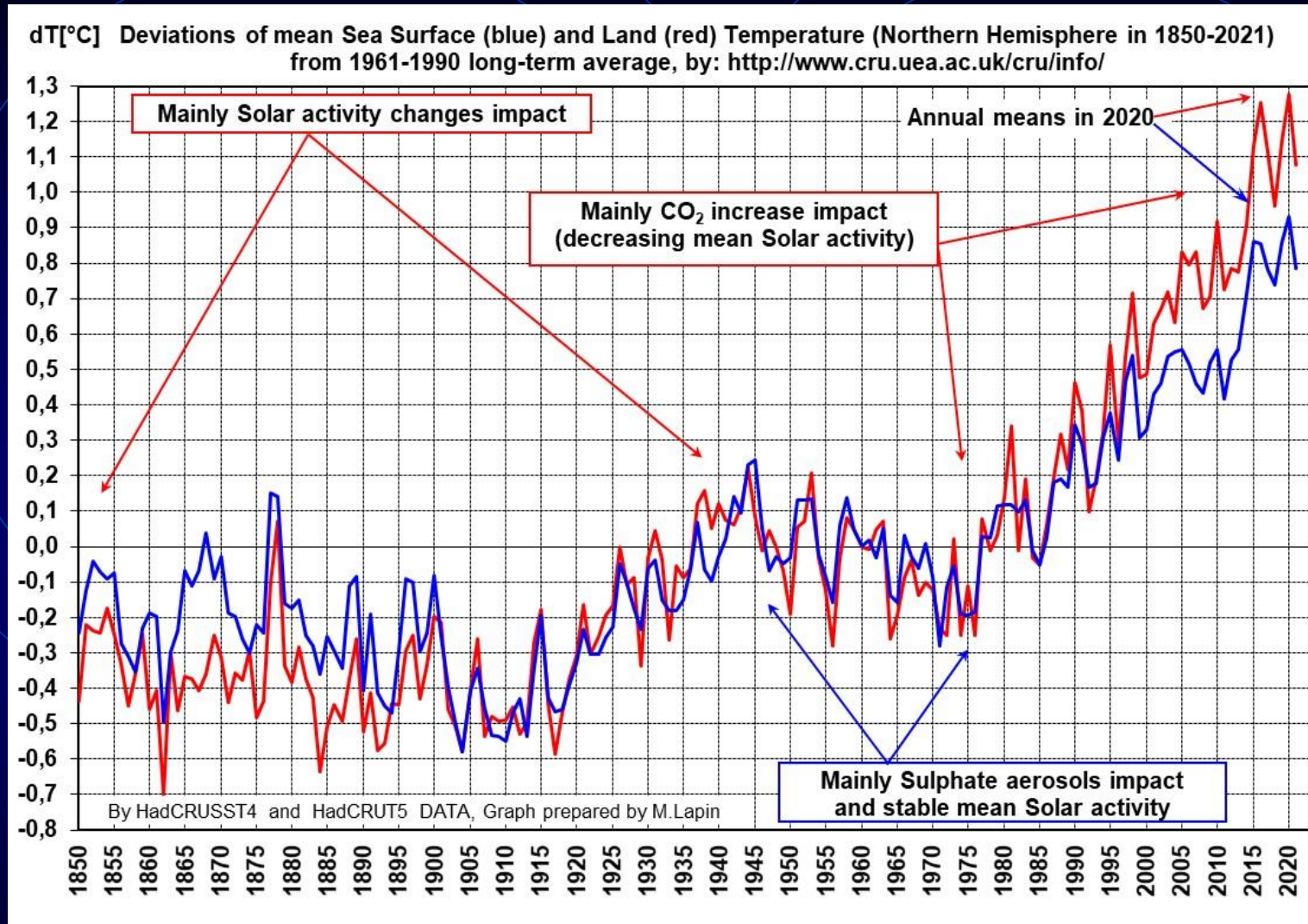
ROČNÉ A MESAČNÉ PRIEMERY TEPLOTY VZDUCHU NA ZEMI



KÍZAVÉ 3-MESAČNÉ ODCHÝLKY TEPLOTY POVRCHU OCEÁNOV OD DP 1961-1990 A OCEÁNICKÉHO NINO INDEXU, 1997-2022



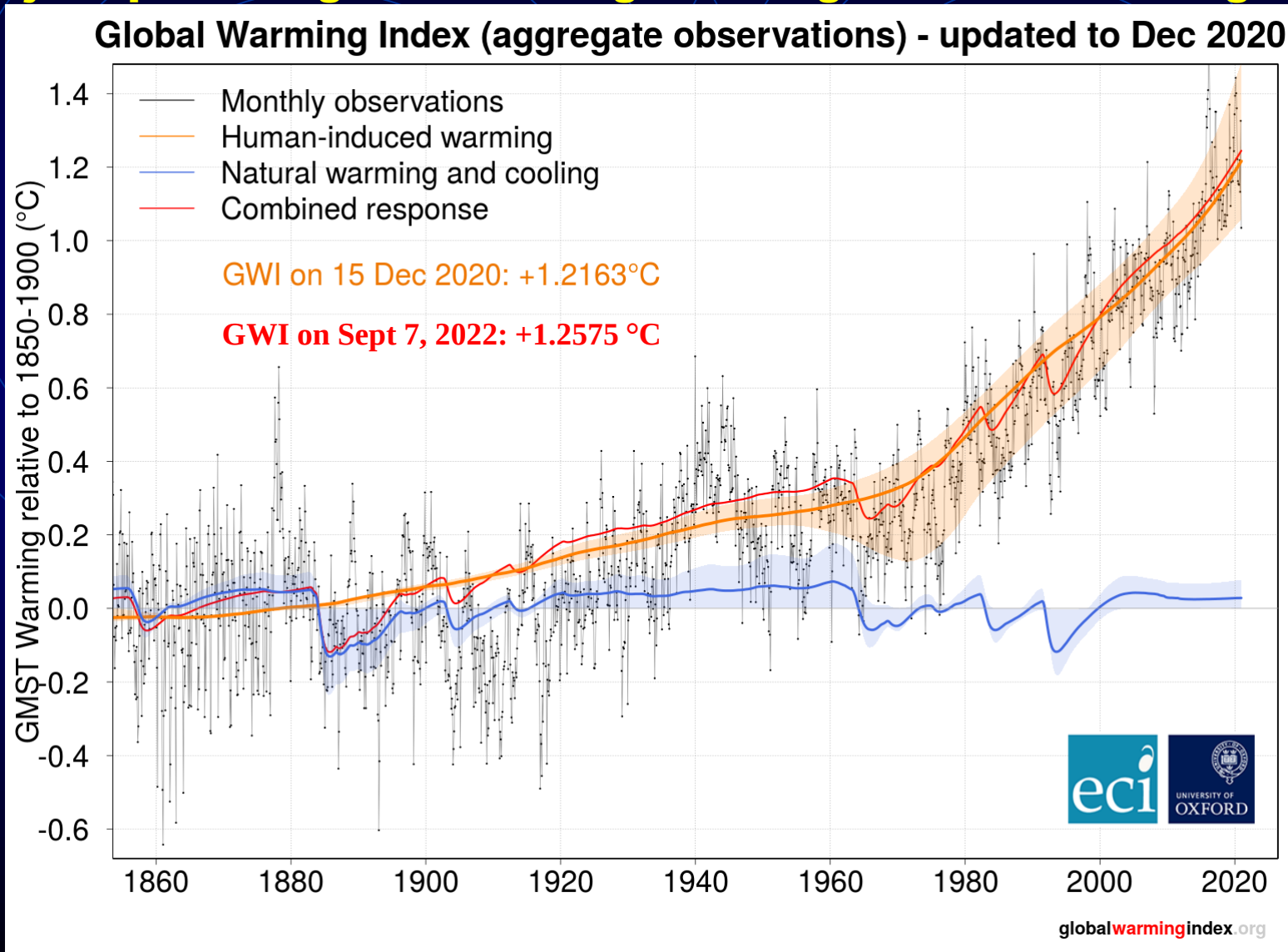
ODCHÝLKY ROČNÝCH PRIEMEROV TEPLoty VZDUCHU A TEPLoty POVRCHU OCEÁNOV NA SEVERNEJ POLOGULI OD NORMÁLU 1961-1990



Až vyše 90% energie získanej zo zosilňovania skleníkového efektu atmosféry sa použije na zohrievanie oceánov

ODCHÝLKY PRIEMEROV TEPLOTY VZDUCHU NA ZEMI (OBDOBIE 1850-2020 OD 1850-1900)

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



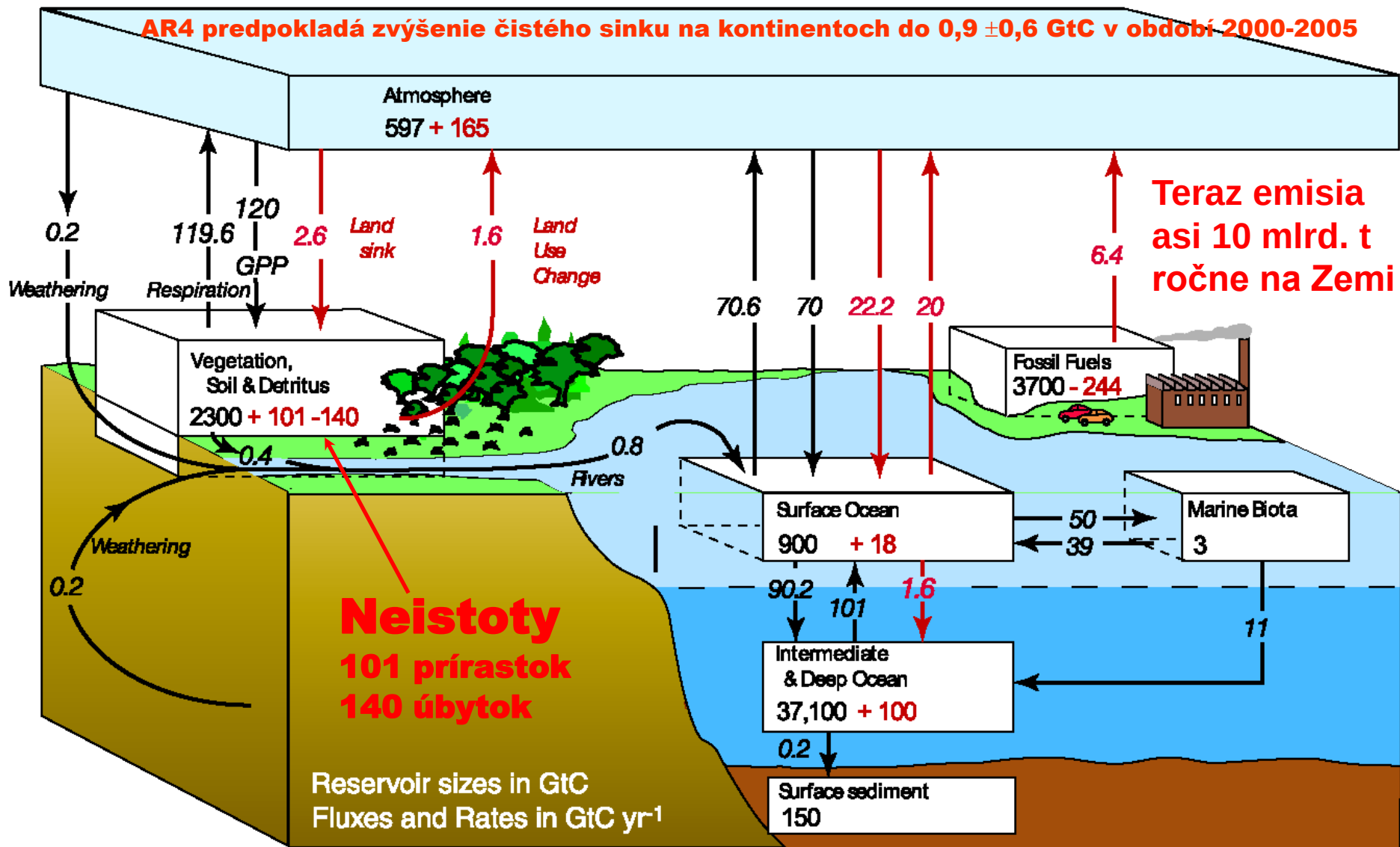
UHLÍKOVÝ CYKLUS NA ZEMI

- Pri rozbere tejto problematiky je potrebné venovať sa najprv **prirodzenému uhlíkovému cyklu** a jeho zmenám v dlhodobom časovom horizonte (ide viac ako 210 miliárd ton uhlíka ročne pri výmene medzi atmosférou a povrchom Zeme (pevnina a oceány) a zotrvanie CO_2 ~ 50 - 200 r.)
- Kľúčový je odhad podielu **antropogénneho uhlíka**, ktorý sa dostal do globálneho uhlíkového cyklu vplyvom aktivít človeka, tiež jeho historický a budúci vývoj (teraz 11 mlrd. t)
- Popri uhlíkovom cykle sa sleduje aj vývoj koncentrácie **súvisiacich cyklov skleníkových plynov CH_4 a N_2O** a ich ovplyvnenie aktivitami človeka
- Odhad scenárov **možného budúceho vývoja emisie a koncentrácie CO_2 , CH_4 , N_2O a i.**, vrátane očakávaných dôsledkov je predmetom analýz Medzivládneho panelu OSN pre klimatickú zmenu (IPCC, od 1988) a WCP (od 1979)

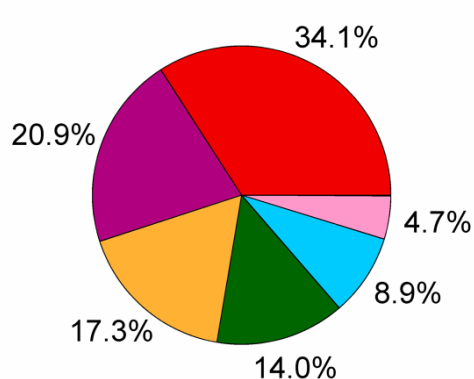
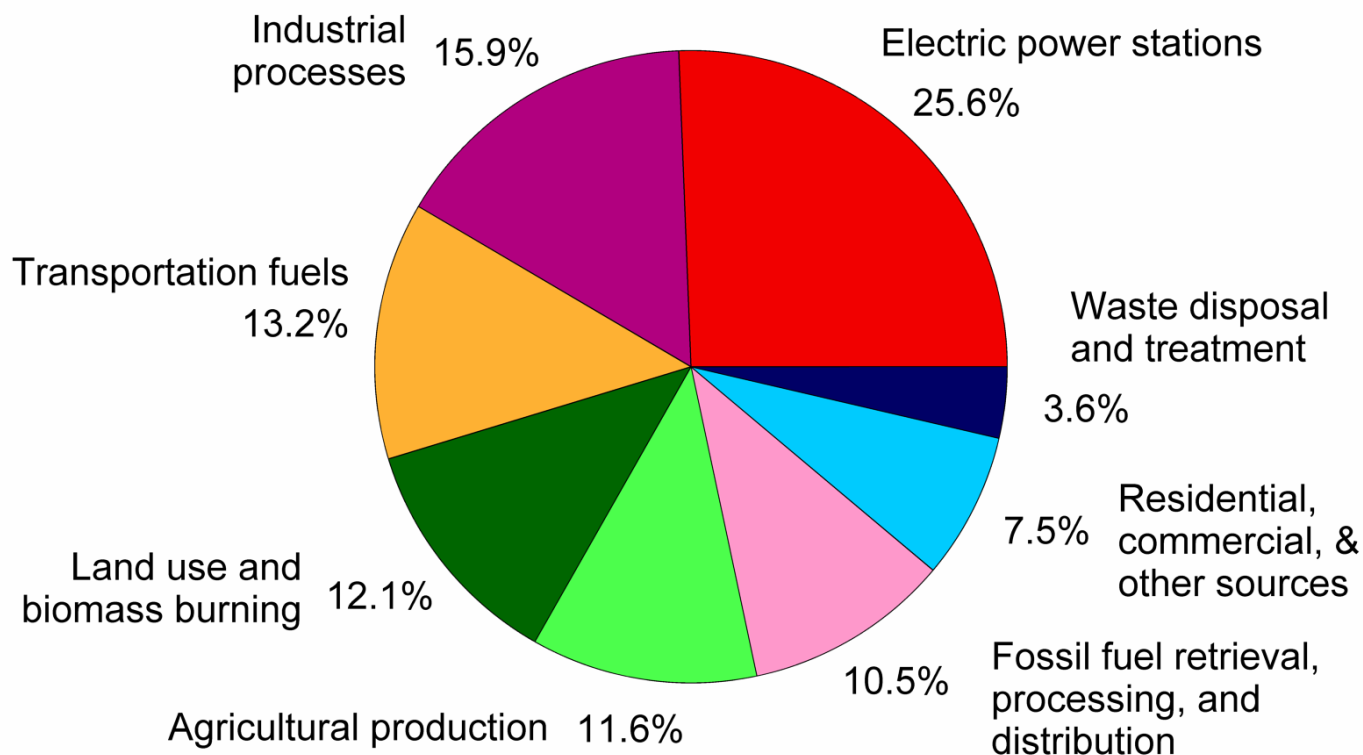
Uhlíkový cyklus na Zemi v r. 1990 (IPCC 2007)

Všimnúť si treba antropogénny podiel (červené), ukladanie do fosílií len asi 0,5 GtC za r.

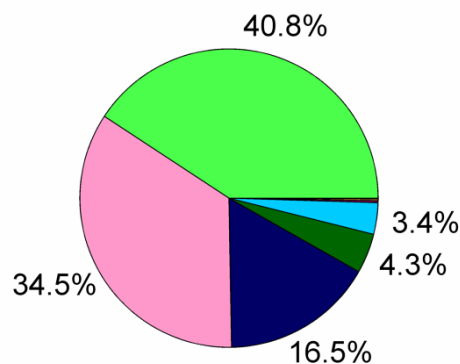
AR4 predpokladá zvýšenie čistého sinku na kontinentoch do $0,9 \pm 0,6$ GtC v období 2000-2005



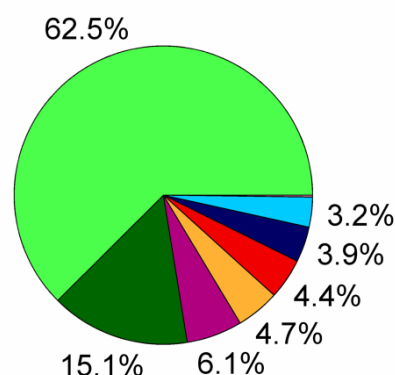
Annual Greenhouse Gas Emissions by Sector



Carbon Dioxide
(72% of total)



Methane
(20% of total)



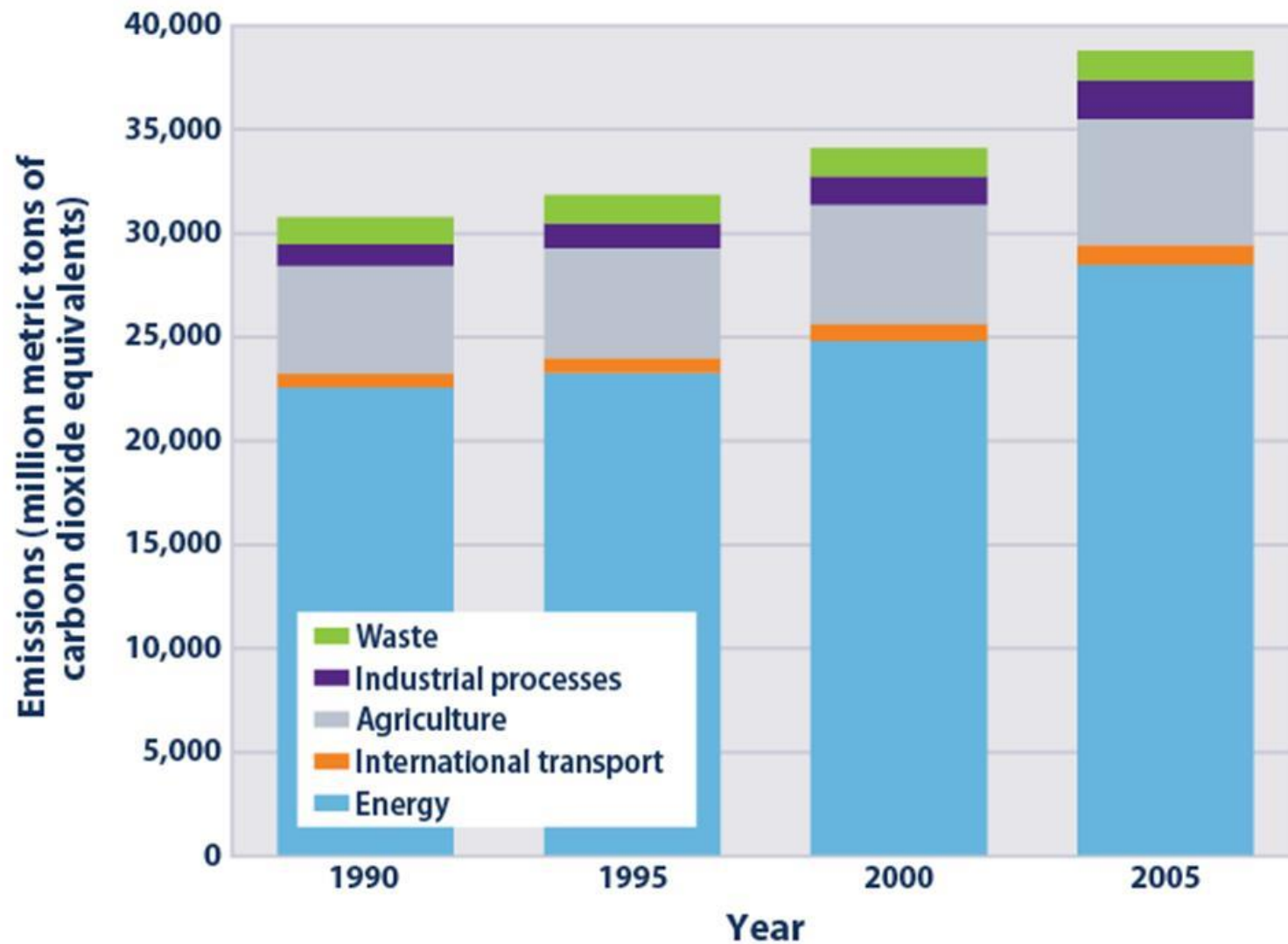
Nitrous Oxide
(5% of total)

**Prehľad
celkovej emisie
skleníkových
plynov podľa
sektorov, stav v
roku 2010**

**Zdroj:
Wikipedia**

**Aj iné sú
spojené s
produkciou
energie, nielen
výroba
elektrickej
energie**

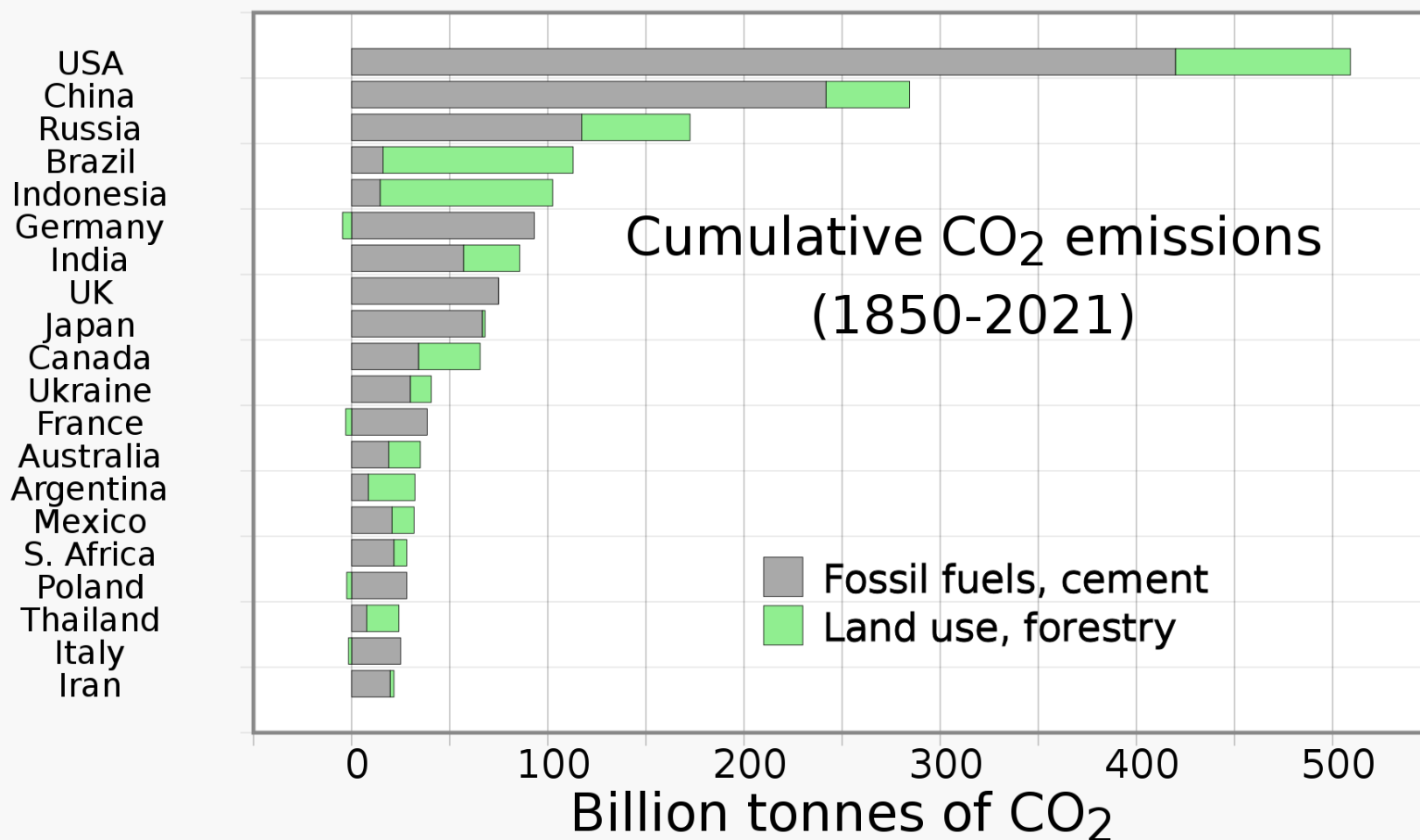
Global Greenhouse Gas Emissions by Sector, 1990–2005



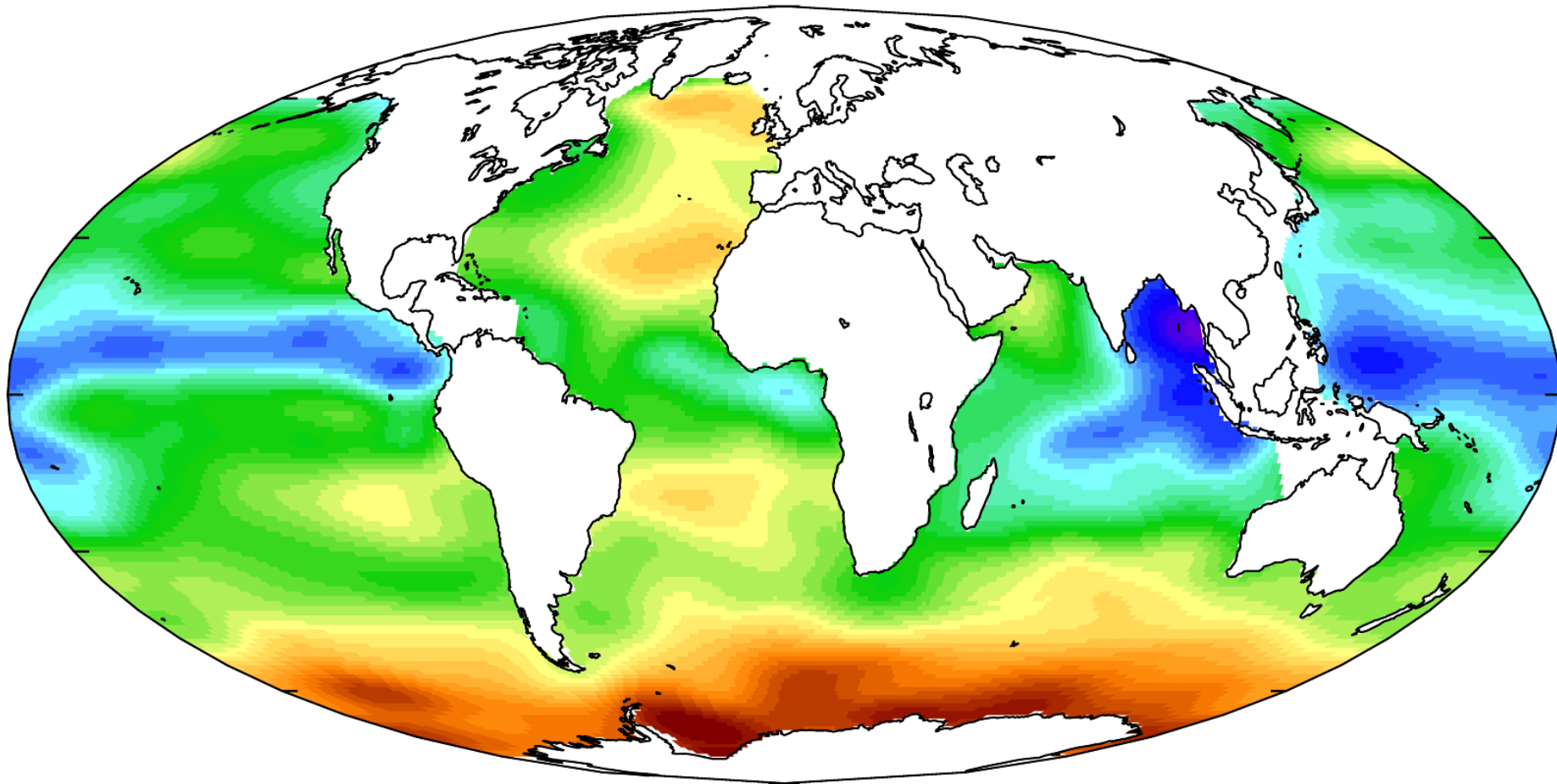
Data source: World Resources Institute. 2009. Climate Analysis Indicators Tool (CAIT). Version 6.0. Accessed January 2009. <http://cait.wri.org>.

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

Kumulatívna emisia CO₂ z fosílnych zdrojov a z pôdy dôležitých krajín na Zemi (Evans, Simon, CDIAC, 2021)

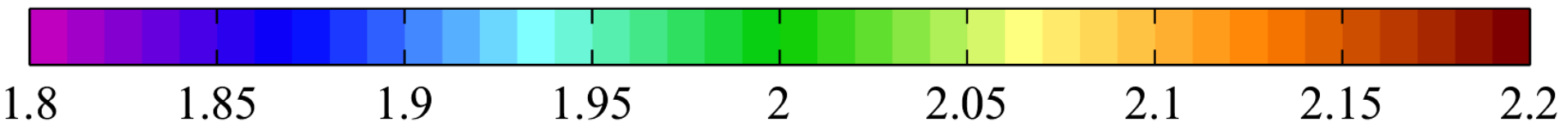


Obsah anorganického uhlíka v r. 1990 (Wikipedia)

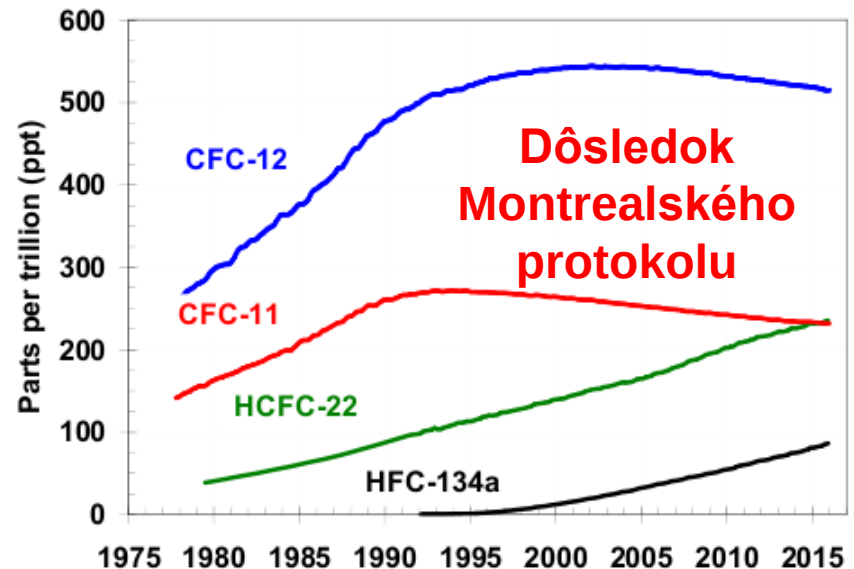
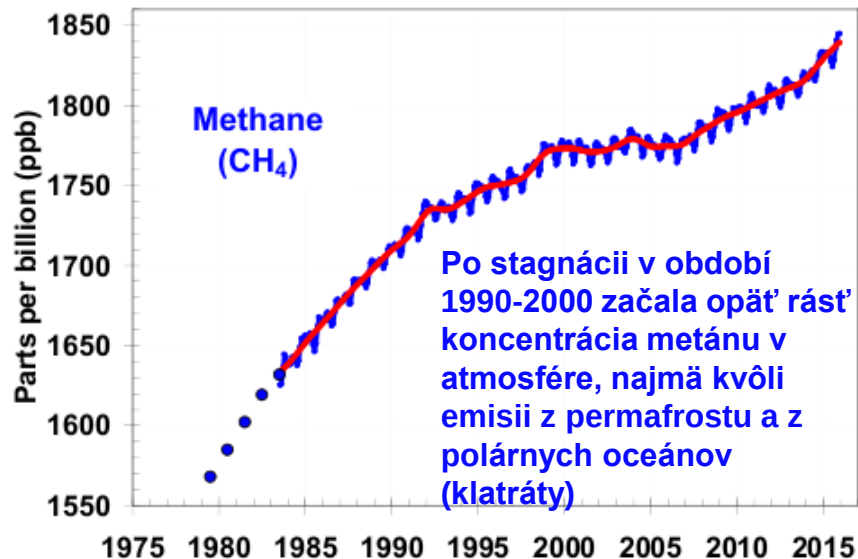
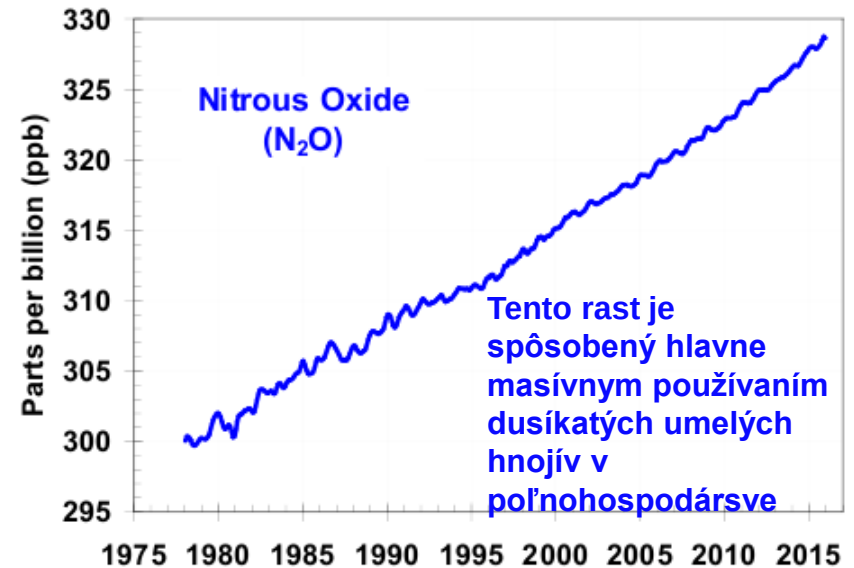
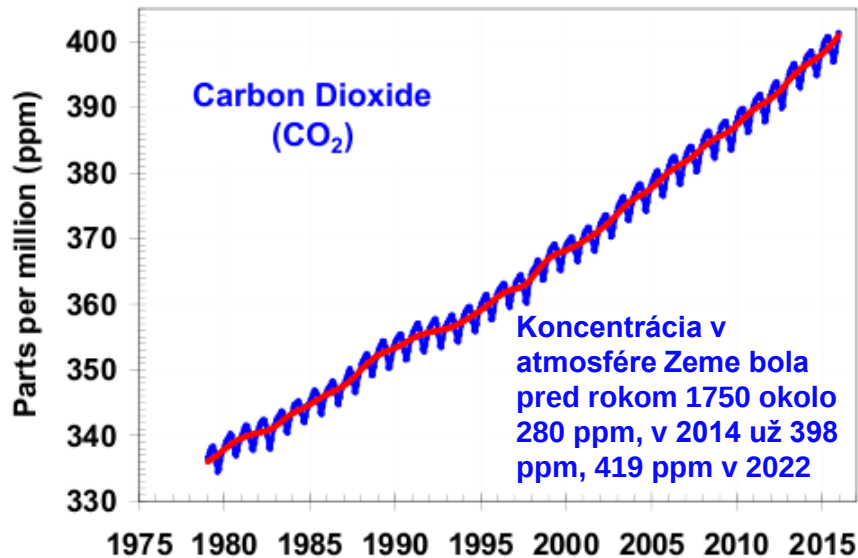


Čím je voda teplejšia – tým menej CO₂ absorbuje (v V.2015 až IV.2016 zvýšenie CO₂ v atmosfére až o 4,2 ppm?)

Sea-surface DIC [mmol C kg⁻¹]



TREND RÔZNYCH SKLENÍKOVÝCH PLYNOV, Wikipedia



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

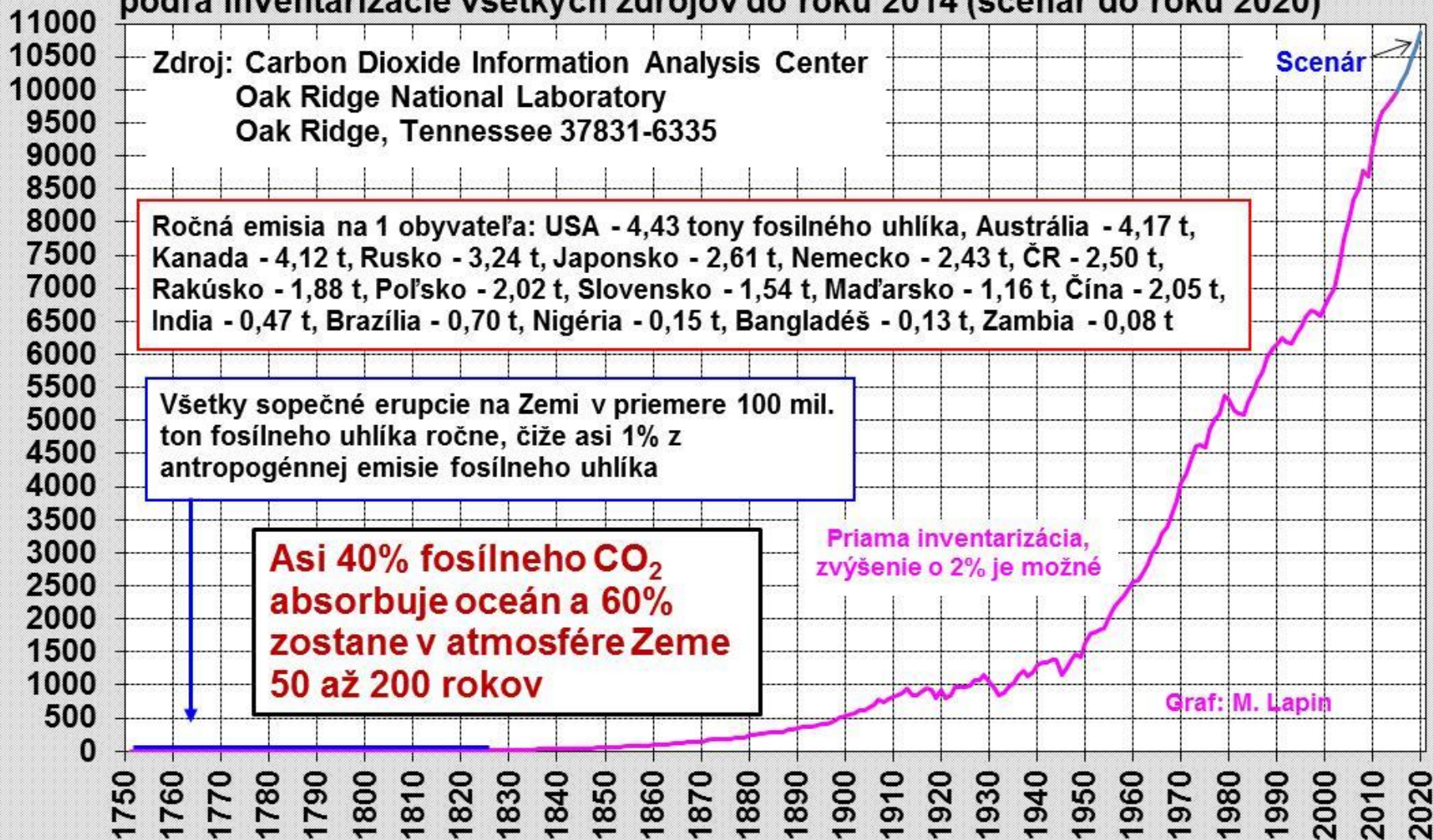
Ročná emisia na 1 obyvateľa: USA - 4,43 tony fosílného uhlíka, Austrália - 4,17 t, Kanada - 4,12 t, Rusko - 3,24 t, Japonsko - 2,61 t, Nemecko - 2,43 t, ČR - 2,50 t, Rakúsko - 1,88 t, Poľsko - 2,02 t, Slovensko - 1,54 t, Maďarsko - 1,16 t, Čína - 2,05 t, India - 0,47 t, Brazília - 0,70 t, Nigéria - 0,15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

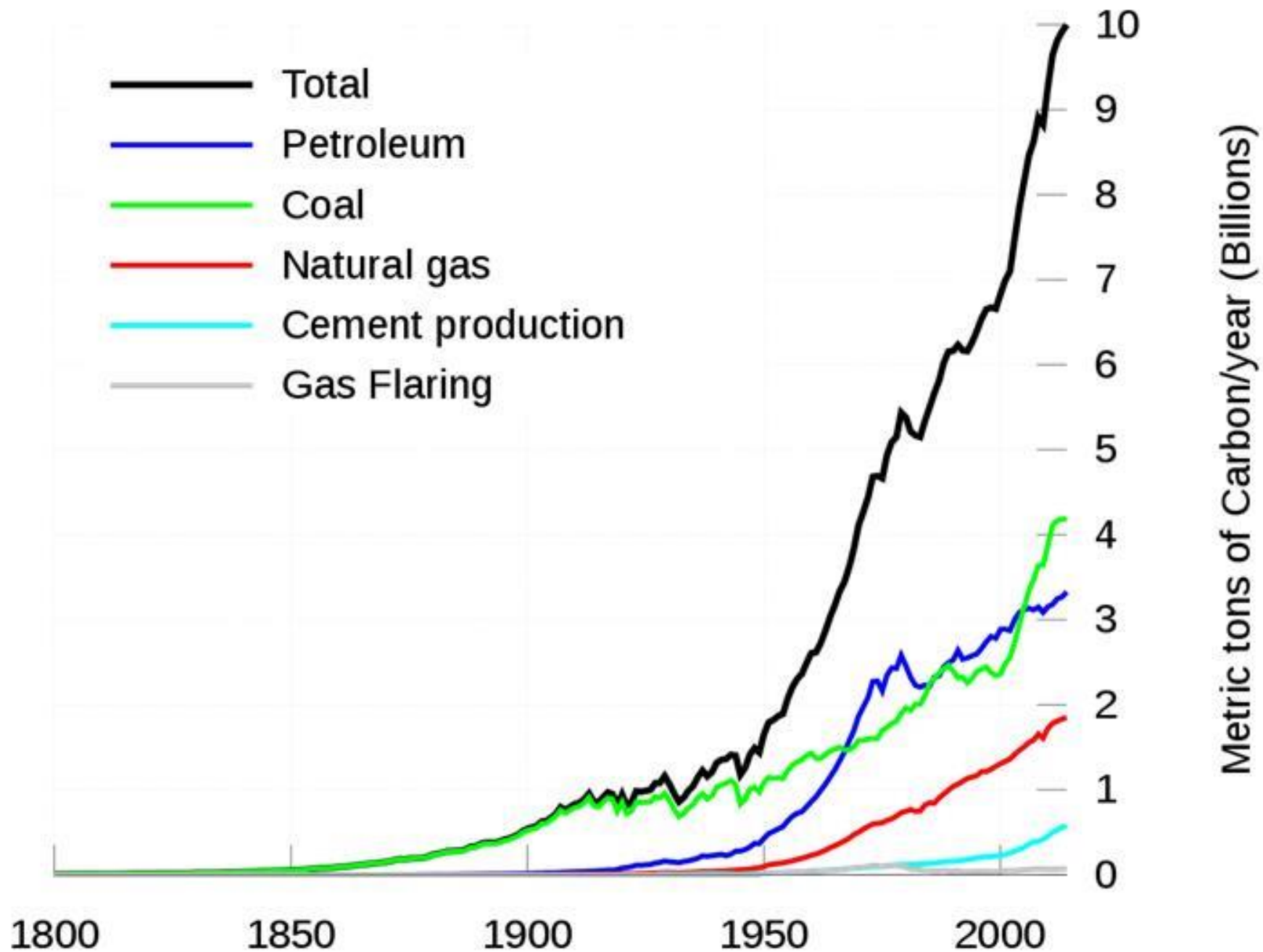
Všetky sopečné erupcie na Zemi v priemere 100 mil. ton fosílného uhlíka ročne, čiže asi 1% z antropogénnej emisie fosílného uhlíka

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

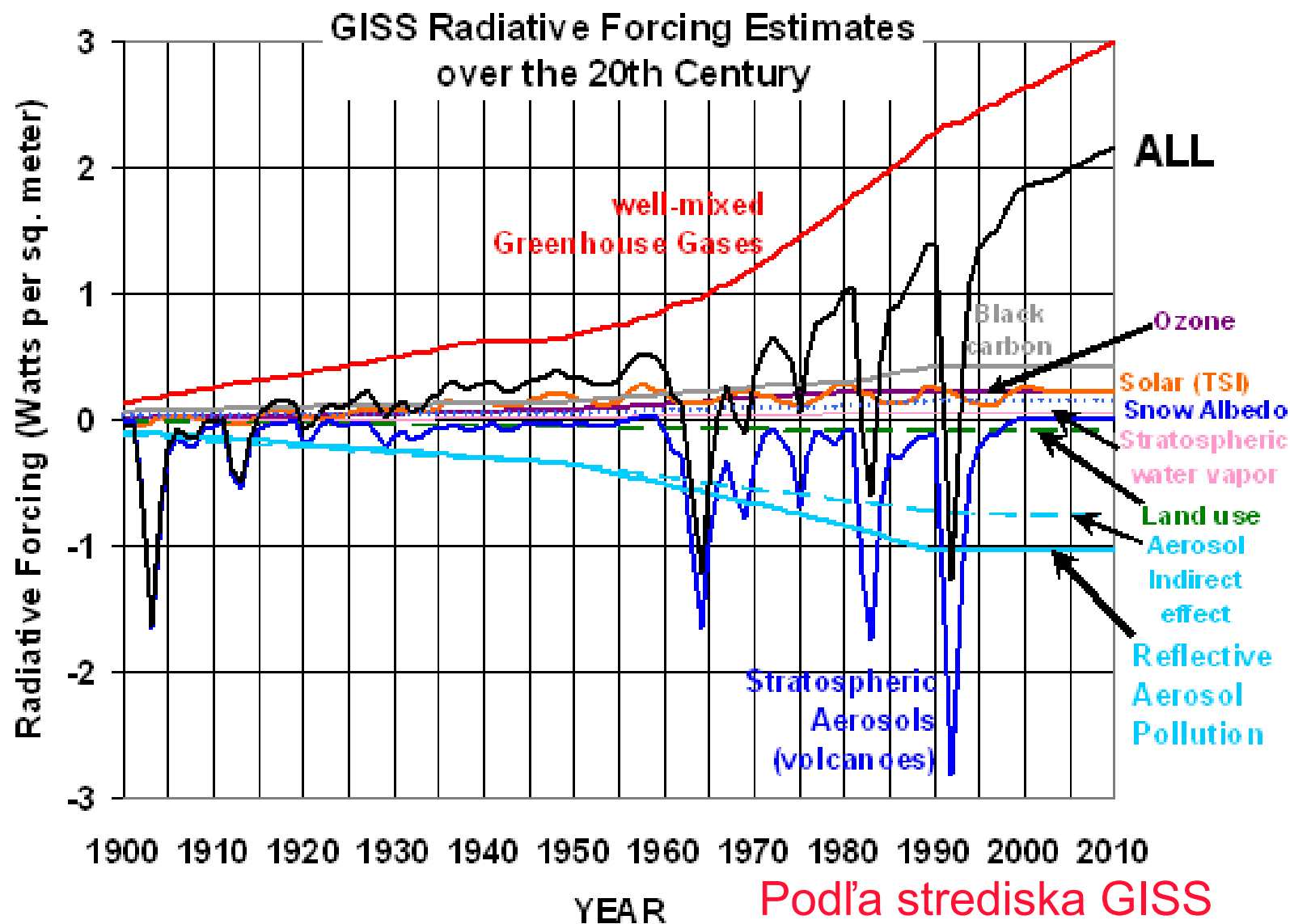
Priama inventarizácia, zvýšenie o 2% je možné

Graf: M. Lapin

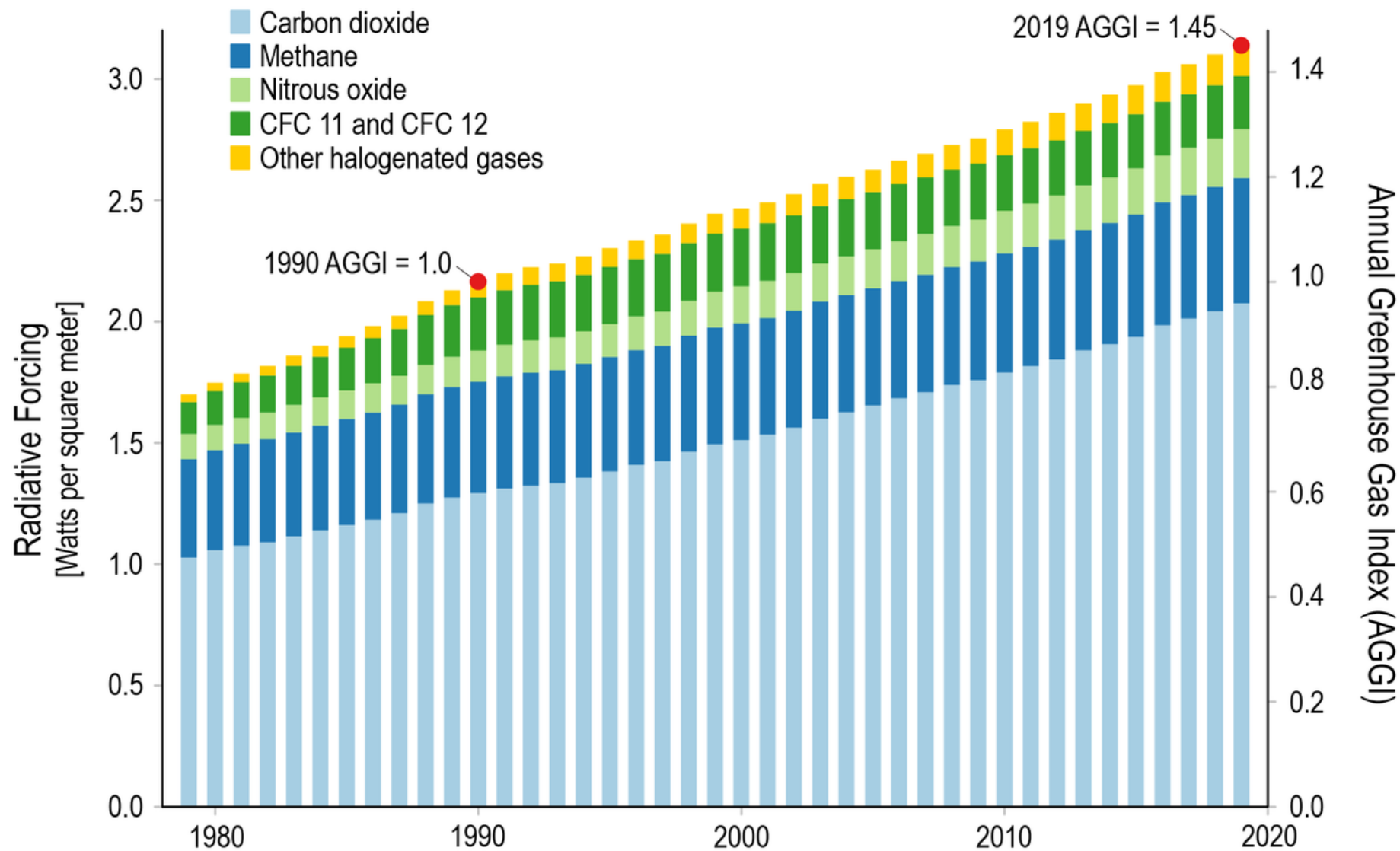




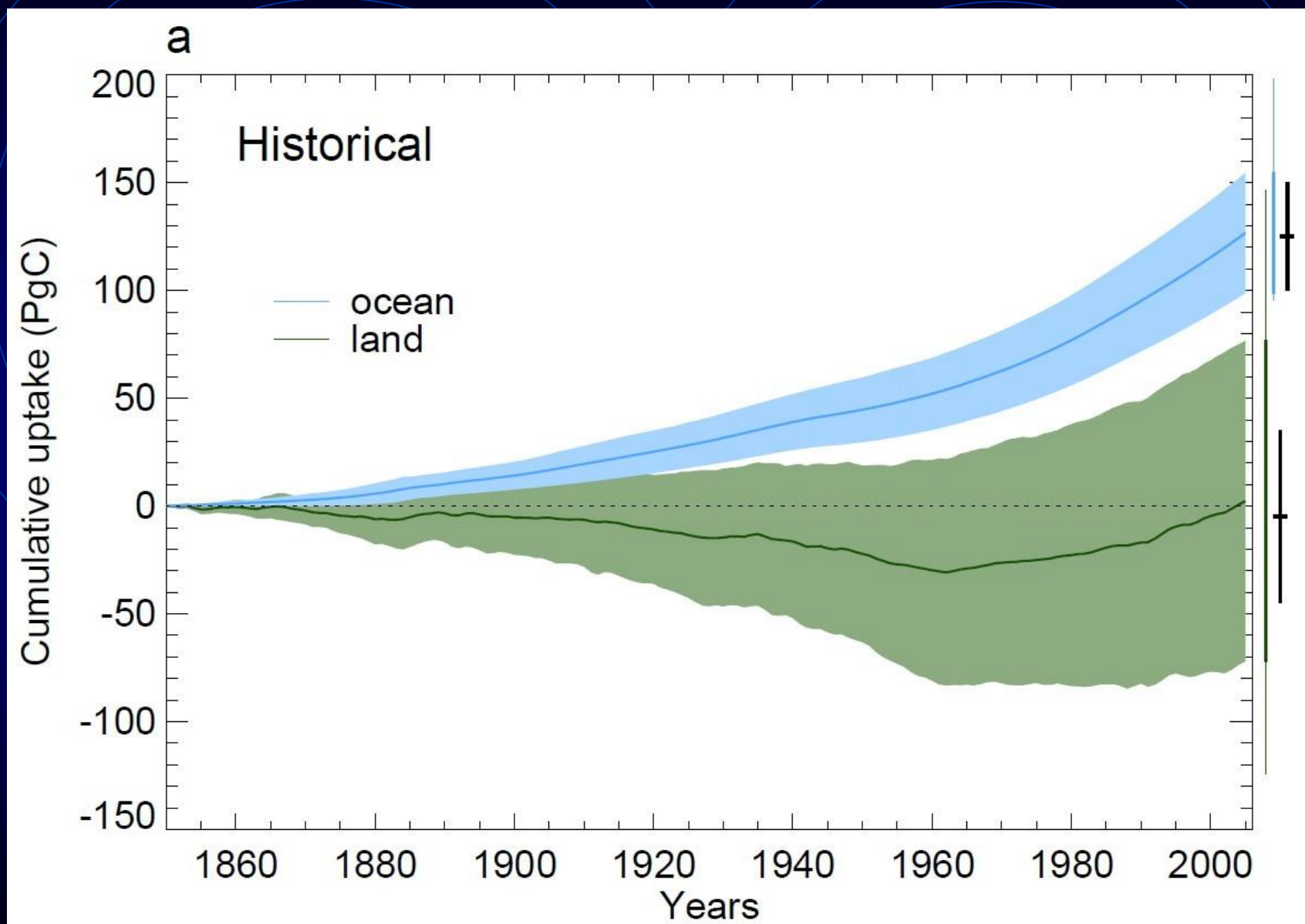
PODIEL NA ZOSILNENÍ SKLENÍKOVÉHO EFEKTU ATMOSFÉRY OD ROKU 1900 (W.m^{-2})



Annual Greenhouse Gas Index

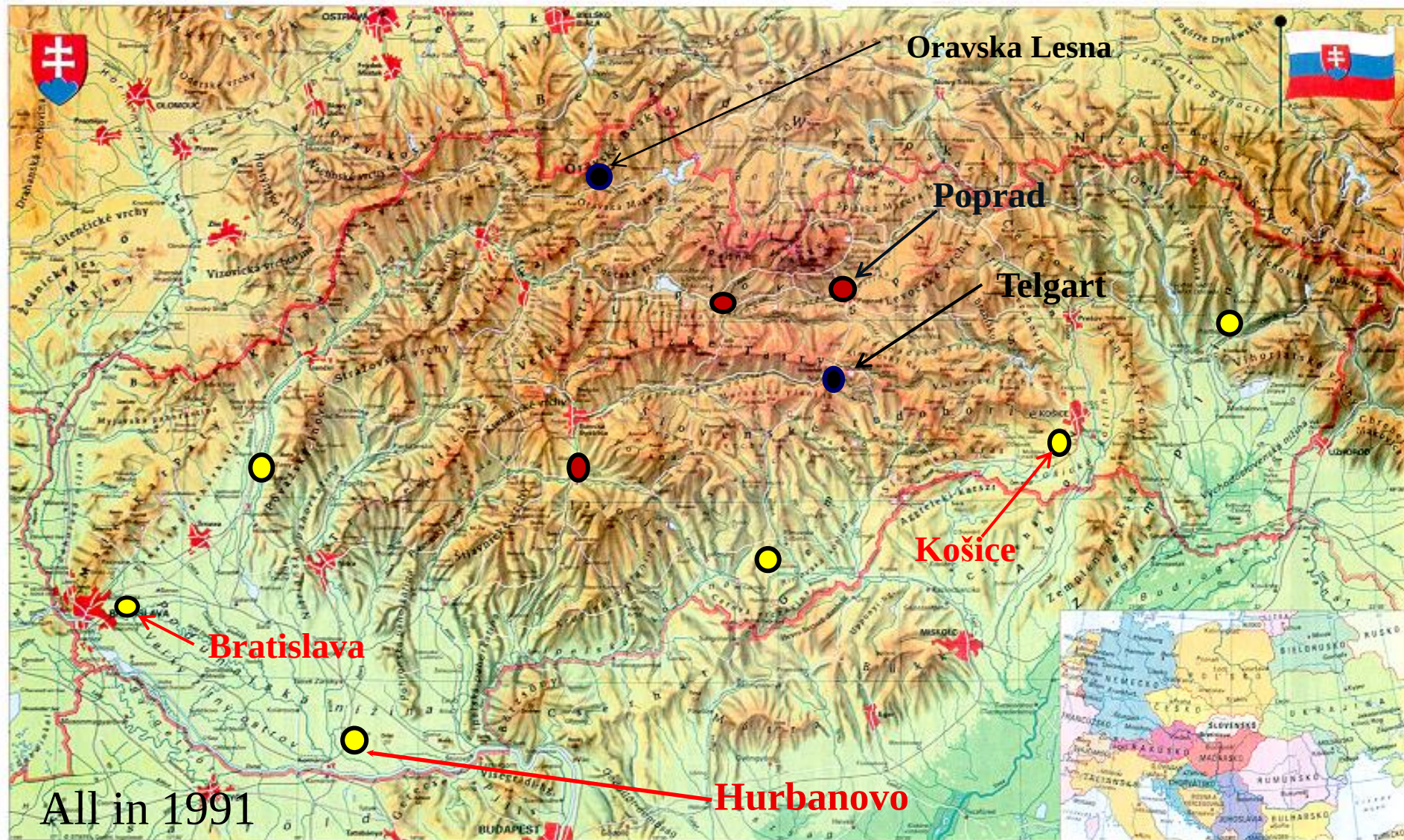


Tok uhlíka do oceánov a do pôdy na Zemi (IPCC AR5)

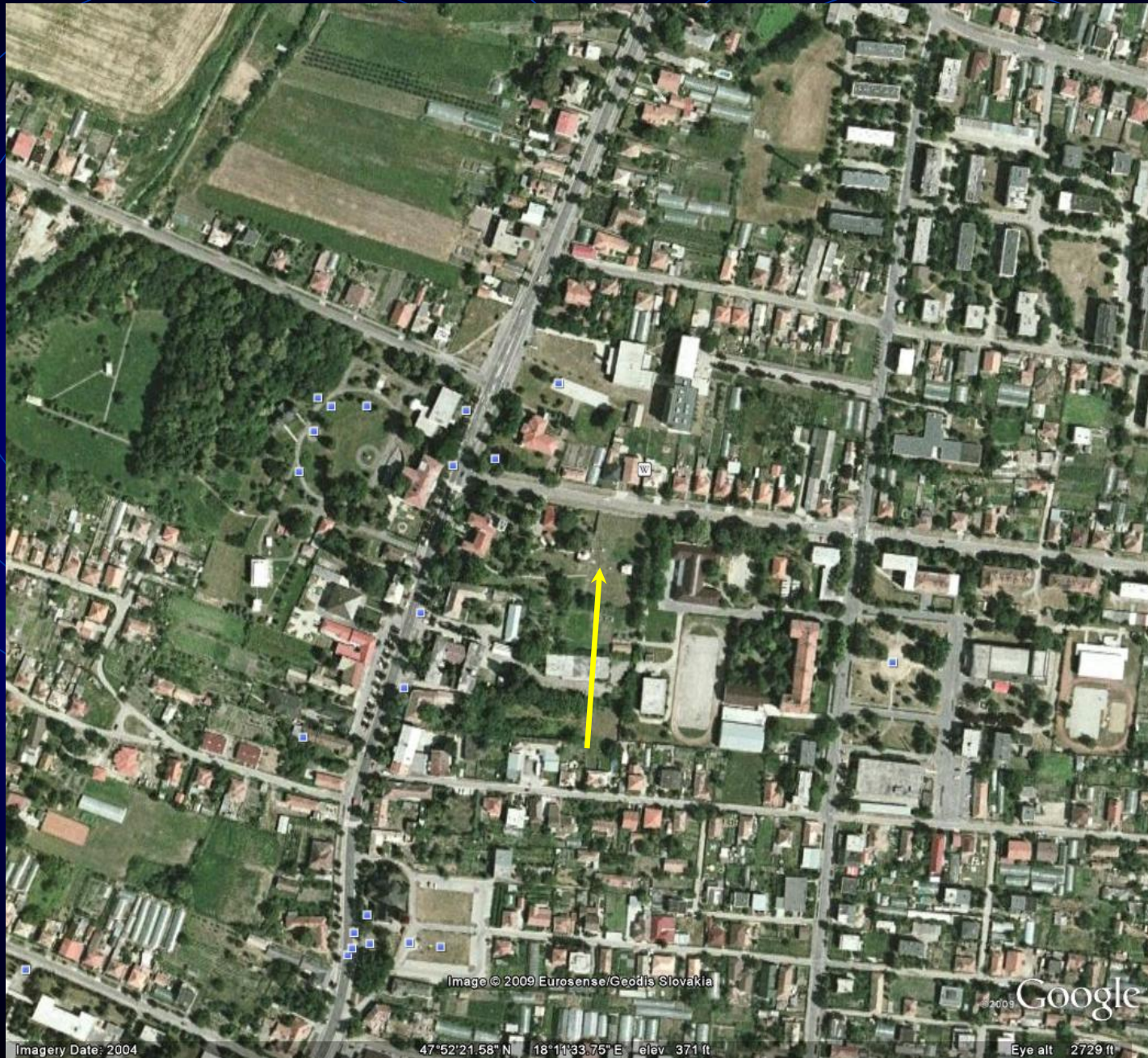


**SLOVAK REPUBLIC – 49 036 sq. km, 440 m mean elevation,
5.4 mil. inhabitants, 747 mm mean precipitation, 7.5 °C mean temp.**

50% agricultural land, 41% forest land, 2% water area, 3% built-up areas, 5.4% above 1000 m,
in 1951-2015 about 100 climatologic stations and about 700 precipitation stations in Slovakia



Meteo-Stanica Hurbanovo, 115 m n.m.



Observatórium v Hurbanove, 115 m n.m.



Foto: M. Lapin, 1989

Observatórium Lomnický štít, 2635 m n.m.

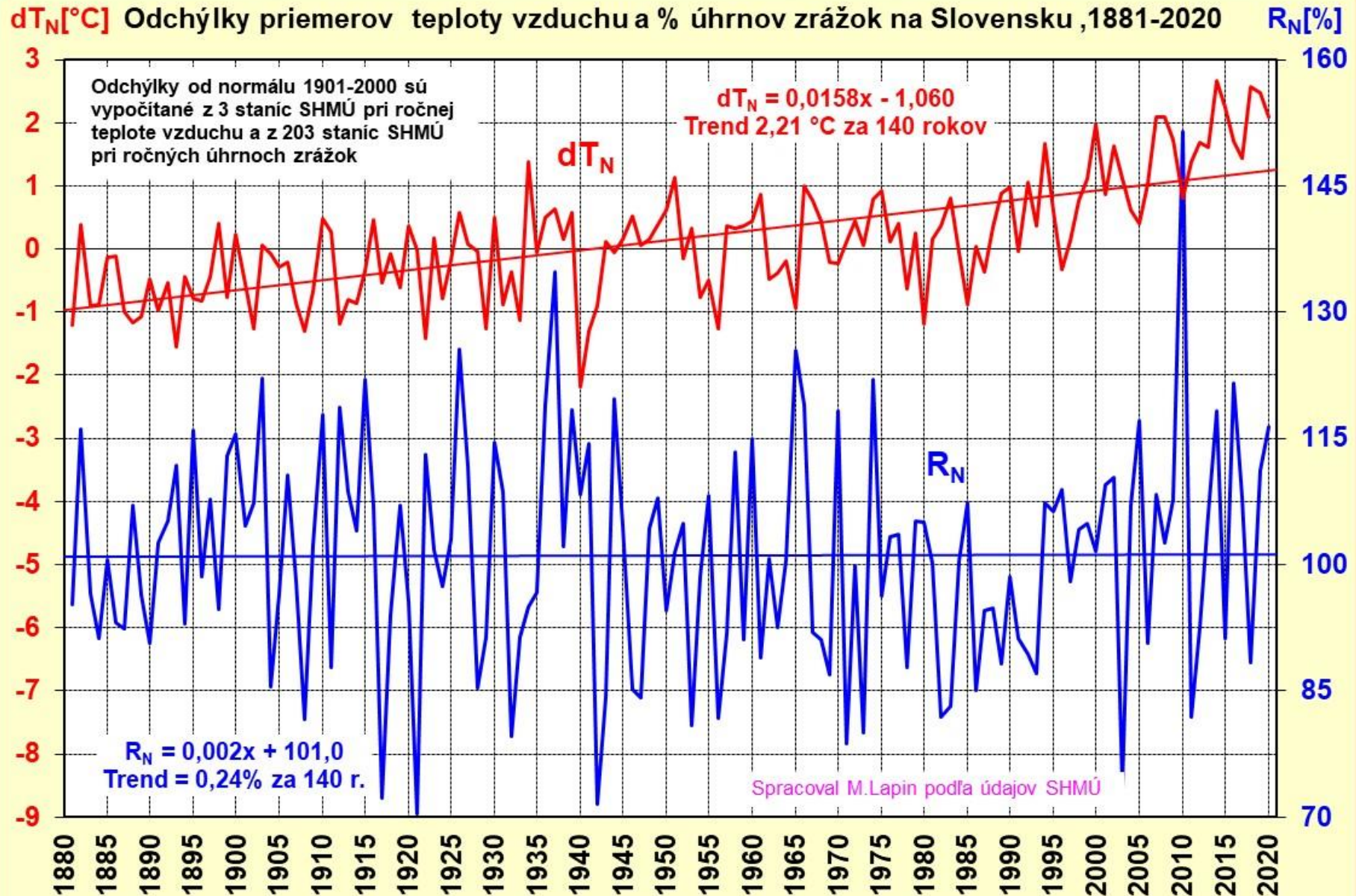


Foto: M.Lapin, II.1973

Pozorovanie na OBS L.štít prebieha od r. 1939 s prerušením v r. 1945 a 1946 (II. svetová vojna, zničenie lanovky), asi v r. 1954 bola pristavená astronomická časť OBS, čo zmenilo trochu veterné pomery. Robili sme porovnávania teploty a vlhkosti vzduchu merané na severnej a južnej strane OBS, na juhu bolo o niečo teplejšie, vplývali na to konvektívne prúdy za slnečného počasia.

Foto: M. Lapin, 1973

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



EŠTE DODATOK K DANEJ TÉME

- Klimatická zmena spôsobená aktivitami človeka je len jednou z viacerých ďalších zmien klímy, ktoré majú však iba prirodzený pôvod. V 5. a 6. Správe IPCC (2013, 2021) sa už ale konštatuje vyše 95% istota, že človekom spôsobená klimatická zmena má väčší podiel na všetkých zmenách klímy ako zmeny klímy prirodzeného charakteru.
- To otvára potrebu zodpovednej diskusie o možných dôsledkoch človekom vyvolanej zmeny klímy v takých socio-ekonomických sektoroch ako poľnohospodárstvo, lesné a vodné hospodárstvo, energetika, doprava, stavebníctvo, zdravotníctvo a i. Dôležité sú ale aj možné dôsledky uvedenej zmeny klímy na pôvodné ekosystémy na celej Zemi a odhad vplyvu prirodzených zmien klímy.
- Vedci odhadli, že globálna zmena klímy v rozsahu do 2 °C (do 1,5 °C) za 100 rokov (oteplenie alebo ochladenie v dlhodobých priemeroch) je ešte v intervale normálnych adaptačných schopností prirodzených ekosystémov a aj väčšiny socio-ekonomických sektorov.
- Ak má ľudstvo čeliť naznačeným rizikám, je potrebné pripraviť adaptačné opatrenia prinajmenšom na strednú triedu scenárov očakávanej klimatickej zmeny (v mimoriadne dôležitých sektoroch aj na horný odhad možnej zmeny klímy).

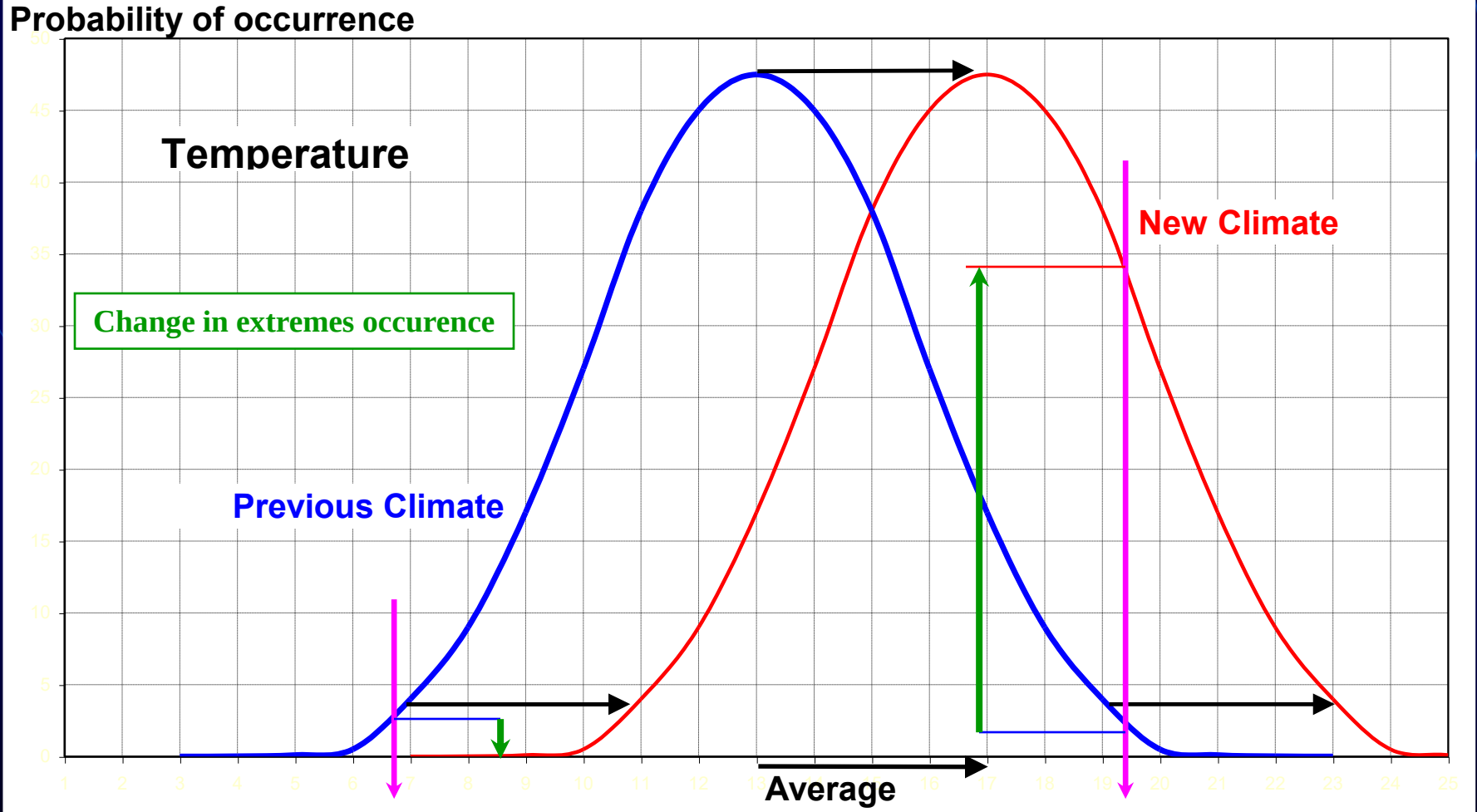
ADAPTÁCIA NA MIMORIADNE POČASIE

- Mimoriadne prípady počasia sú také hodnoty, ktoré mali v nejakom minulom normálovom období pravdepodobnosť prekročenia raz za 50 rokov v priemere (okrajové 2% DK)
- Najzaujímavejšie pre verejnosť sú mimoriadne prípady maxím a miním teploty vzduchu a maxím úhrnov zrážok za rôzne obdobia (deň, mesiac, sezóna ...)
- Mimoriadne prípady počasia sú aj z pohľadu odporúčaní EK (EÚ) také, ktoré už môžu predstavovať poistnú udalosť (na menšie extrémny počasia by sme mali byť pripravení (adaptovaní))
- Adaptácia na budúcu klímu sa teda dotýka hlavne prípadov počasia medzi $p = 2\%$ a 98% (normálne, až silne nad- a podnormálne), adaptácia na mimoriadne počasie je veľmi nákladná, má význam iba v prípade veľmi dôležitých objektov a činností
- Aj adaptácia a aj mitigácia sa má realizovať tak, aby bol zabezpečený udržateľný rozvoj a potravinová bezpečnosť

MOŽNOSTI ZMENY KLÍMY – extrémny

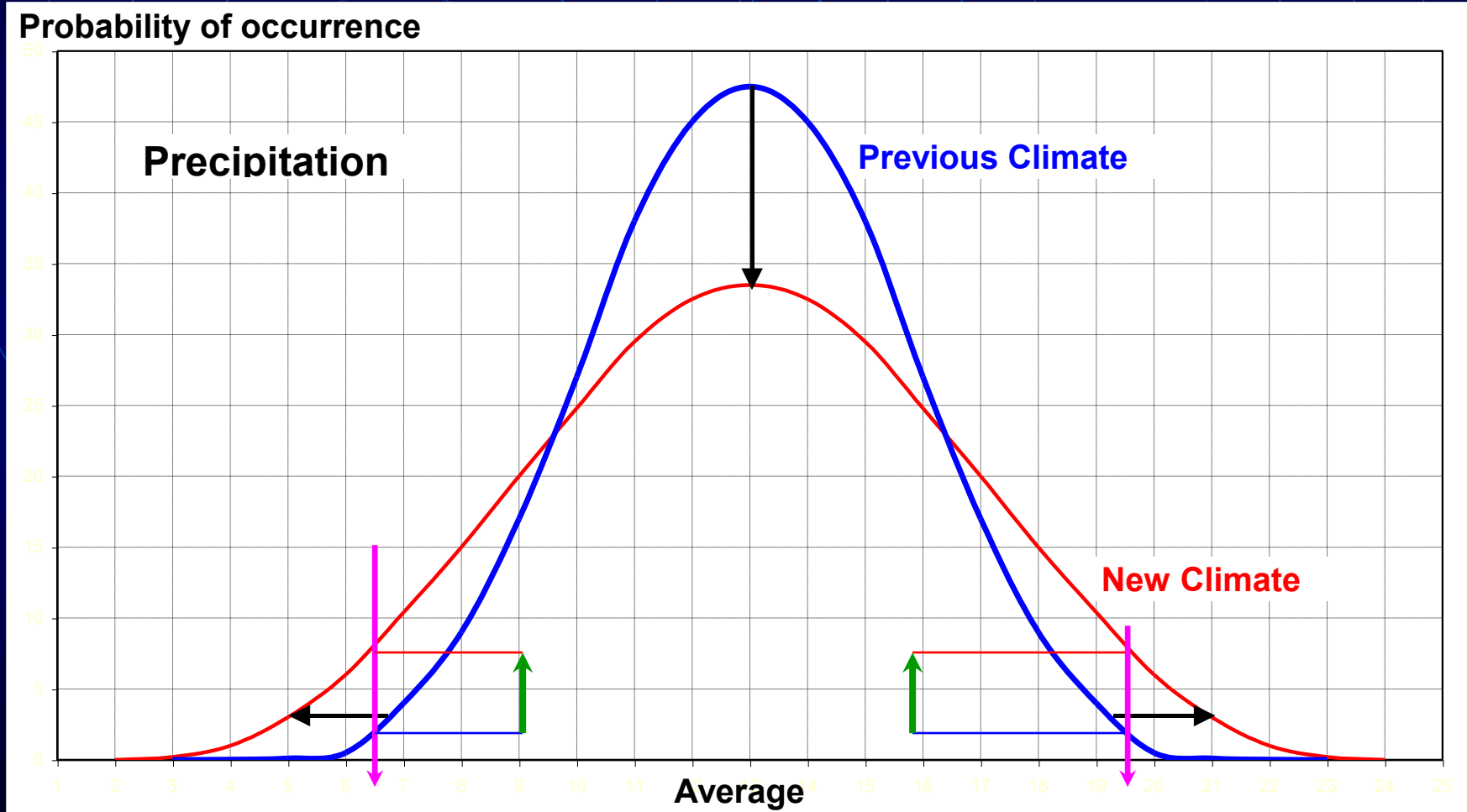
2% pravdepodobnosti prekročenia

(Teplota vzduchu, podľa IPCC, 2001)



MOŽNOSTI ZMENY KLÍMY - extrémny

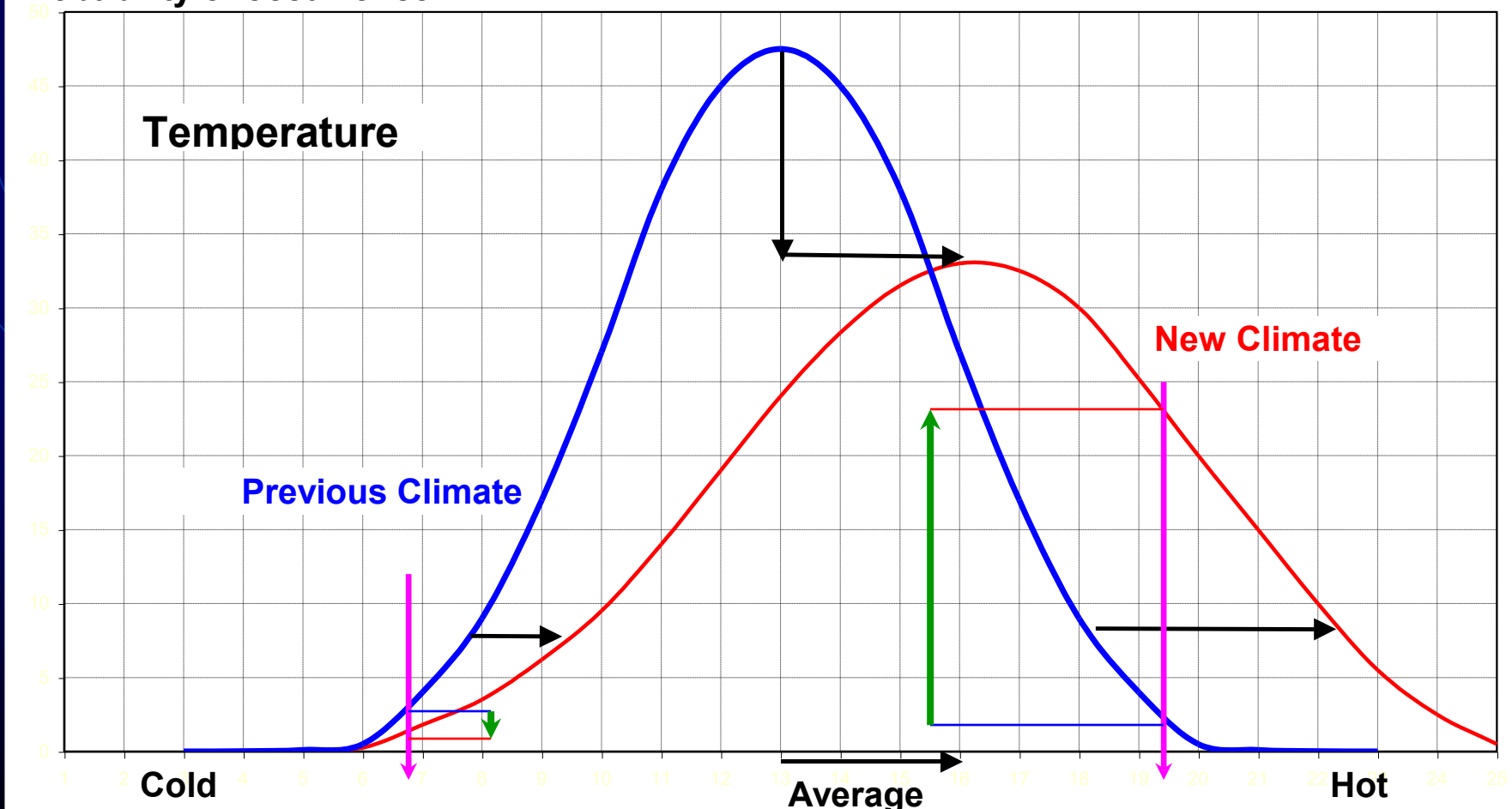
(Úhrny zrážok, podľa IPCC, 2001)



MOŽNOSTI ZMENY KLÍMY - extrémny

(Teplota vzduchu, podľa IPCC, 2001)

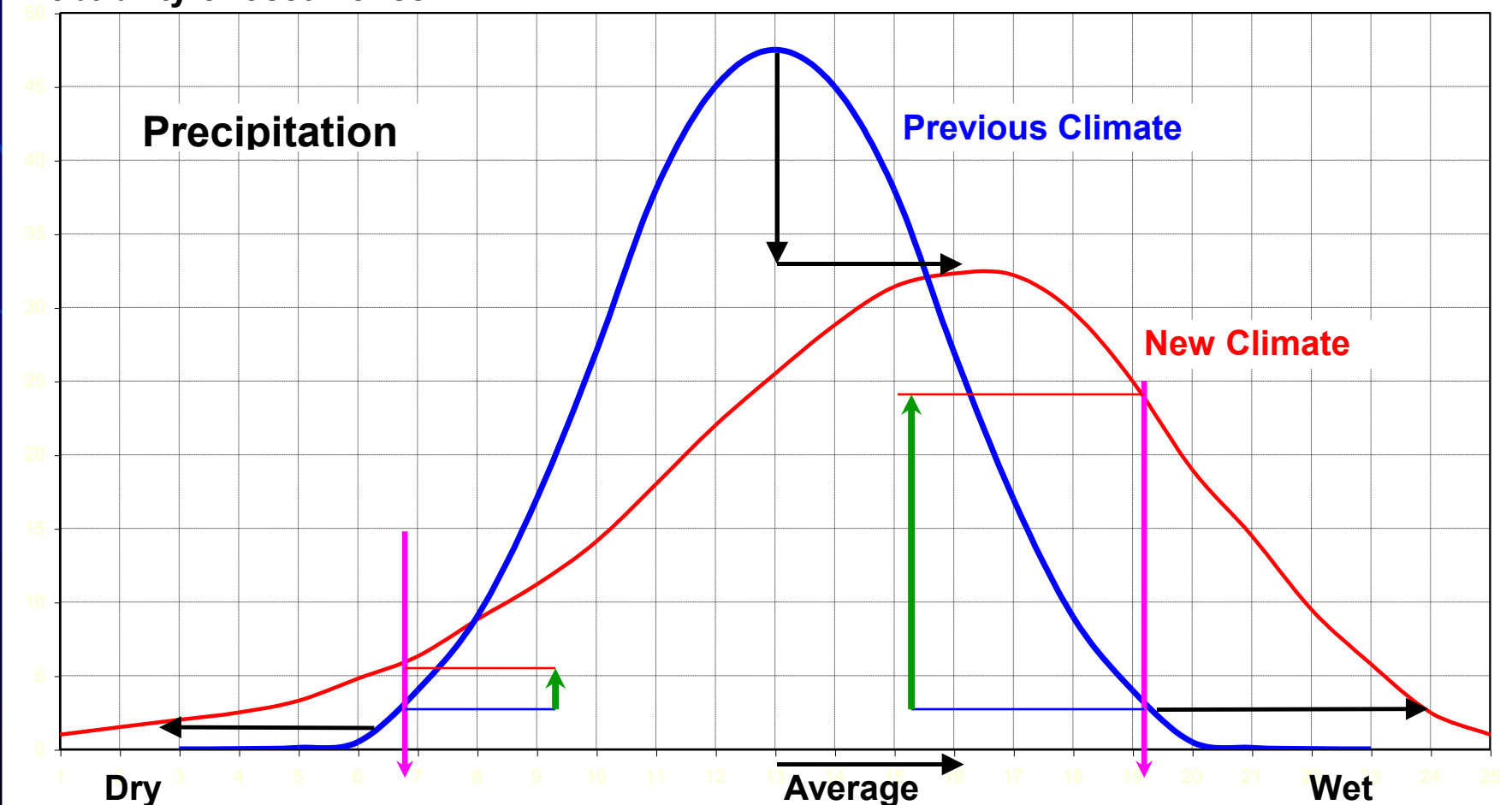
Probability of occurrence



MOŽNOSTI ZMENY KLÍMY - extrémny

(Úhrny zrážok, podľa IPCC, 2001)

Probability of occurrence



AKÉ SCENÁRE KLIMATICKEJ ZMENY EXISTUJÚ ?

- **Scenáre KZ** nie sú predpoveďou, ide o projekciu klímy (30-ročných charakteristík klímy) za určitých vstupných predpokladov
- Scenáre založené na výstupoch fyzikálnych Modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry Zeme – GCMs, RCMs
- Scenáre analógové, Scenáre inkrementálne, Scenáre ako výstup stochastického generátora počasia – sa už dnes používajú iba na testovanie modelov
- **Scenáre kombinované** – zvolíme si GCMs a RCMs scenáre (T, R, s...) a podľa nich vypočítame analógy extrémov zrážok, výparu, snehovej pokrývky....
Uprednostňujeme v SR

**Emisné
scenáre**

**RCP 8.5,
RCP 6.0,
RCP 4.5,
RCP 2.6**

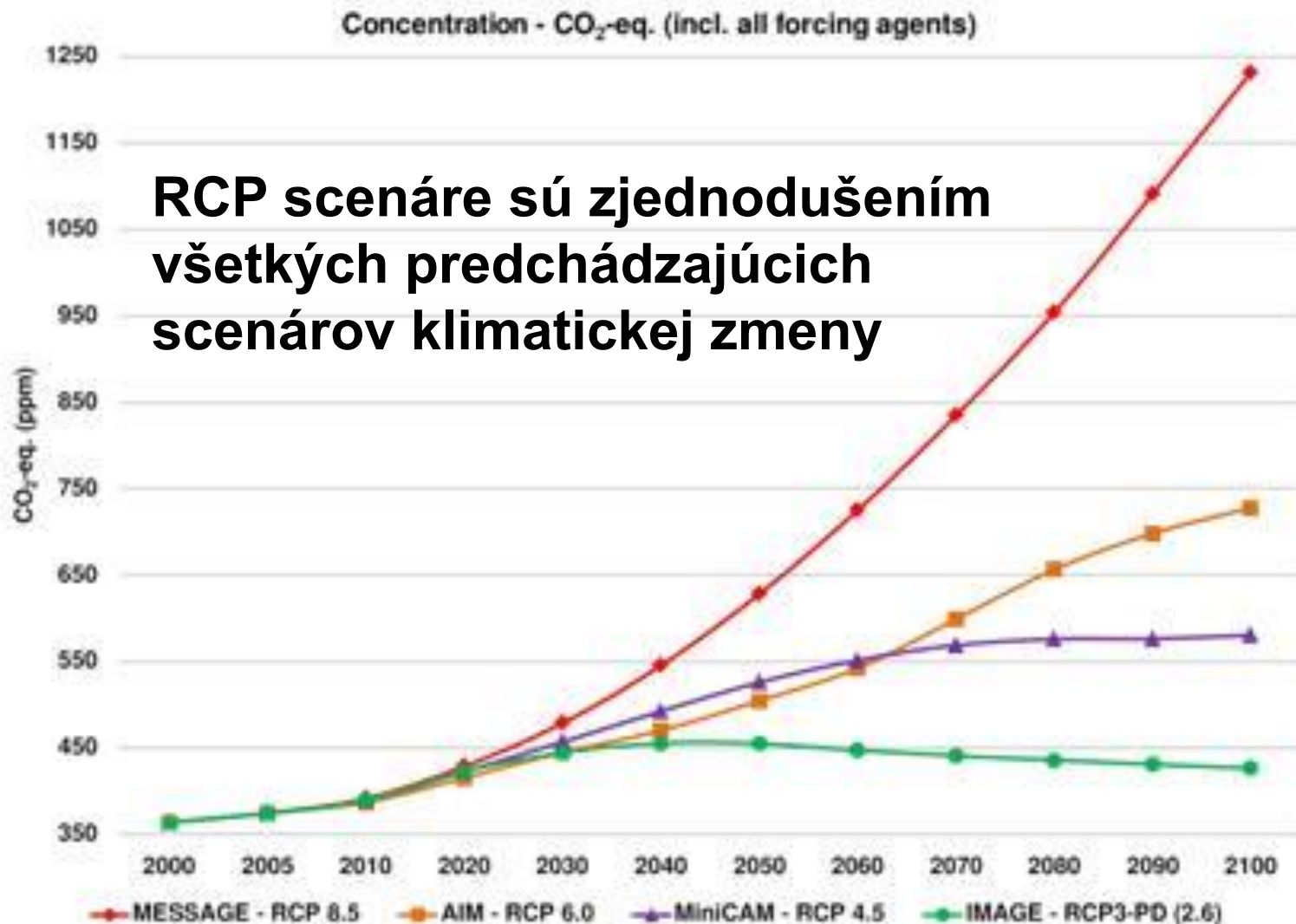
Staršie

**A1, B1T, A1F1,
A1B, A2, B1,
B2**

**Ešte staršie
IS92a, IS92b,
IS92c**

**Predstavujú
rôzne
spôsoby
možných
zmierňujúcich
opatrení na
celej Zemi**

**RCP scenáre sú zjednodušením
všetkých predchádzajúcich
scenárov klimatickej zmeny**



**Alternatívne scenáre boli pripravené v rôznych
svetových centrách a boli publikované v IPCC AR 5, 6**

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

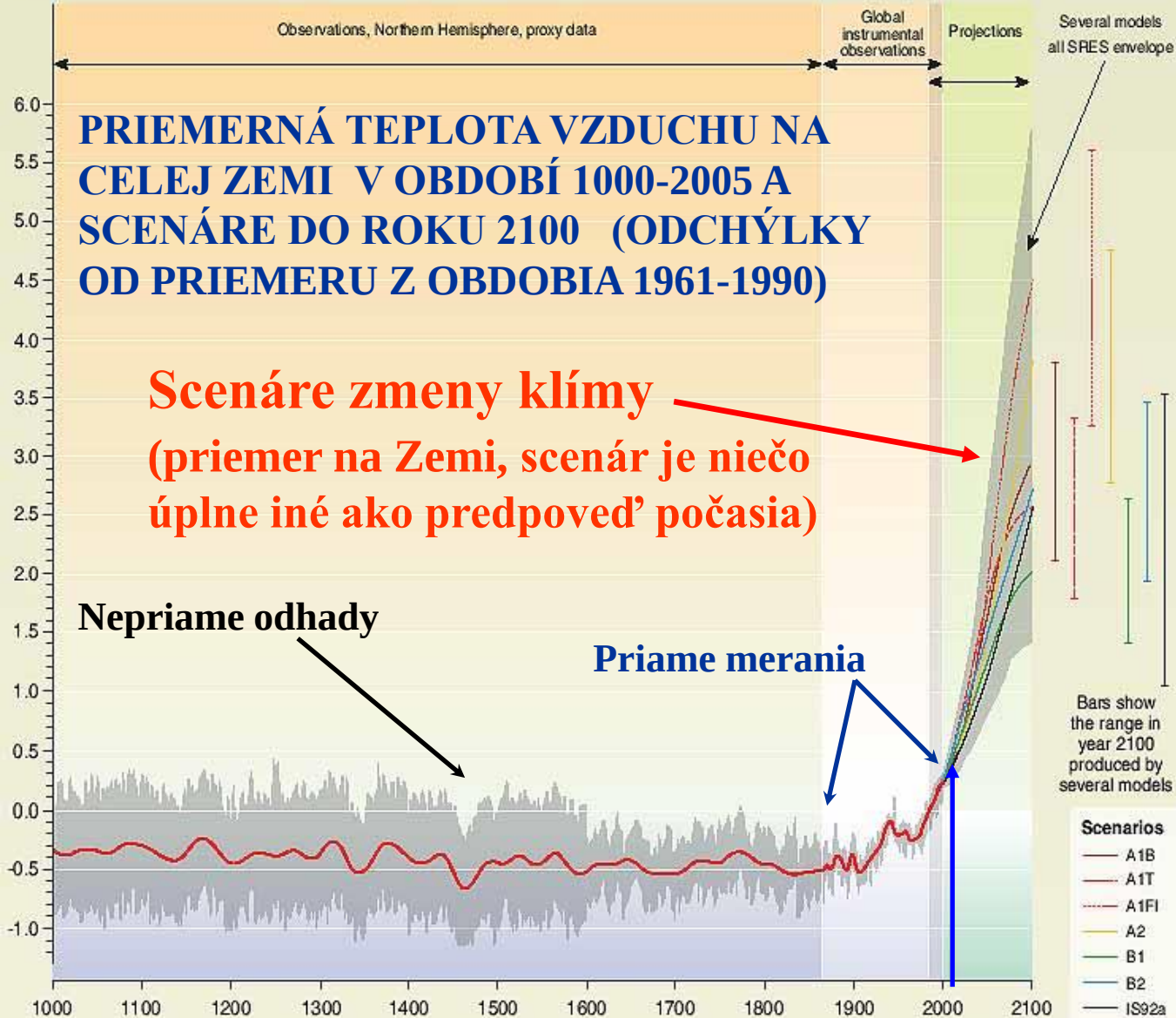
Departures in temperature in °C (from the 1990 value)

PRIEMERNÁ TEPLOTA VZDUCHU NA CELEJ ZEMI V OBDOBÍ 1000-2005 A SCENÁRE DO ROKU 2100 (ODCHÝLKY OD PRIEMERU Z OBDOBIA 1961-1990)

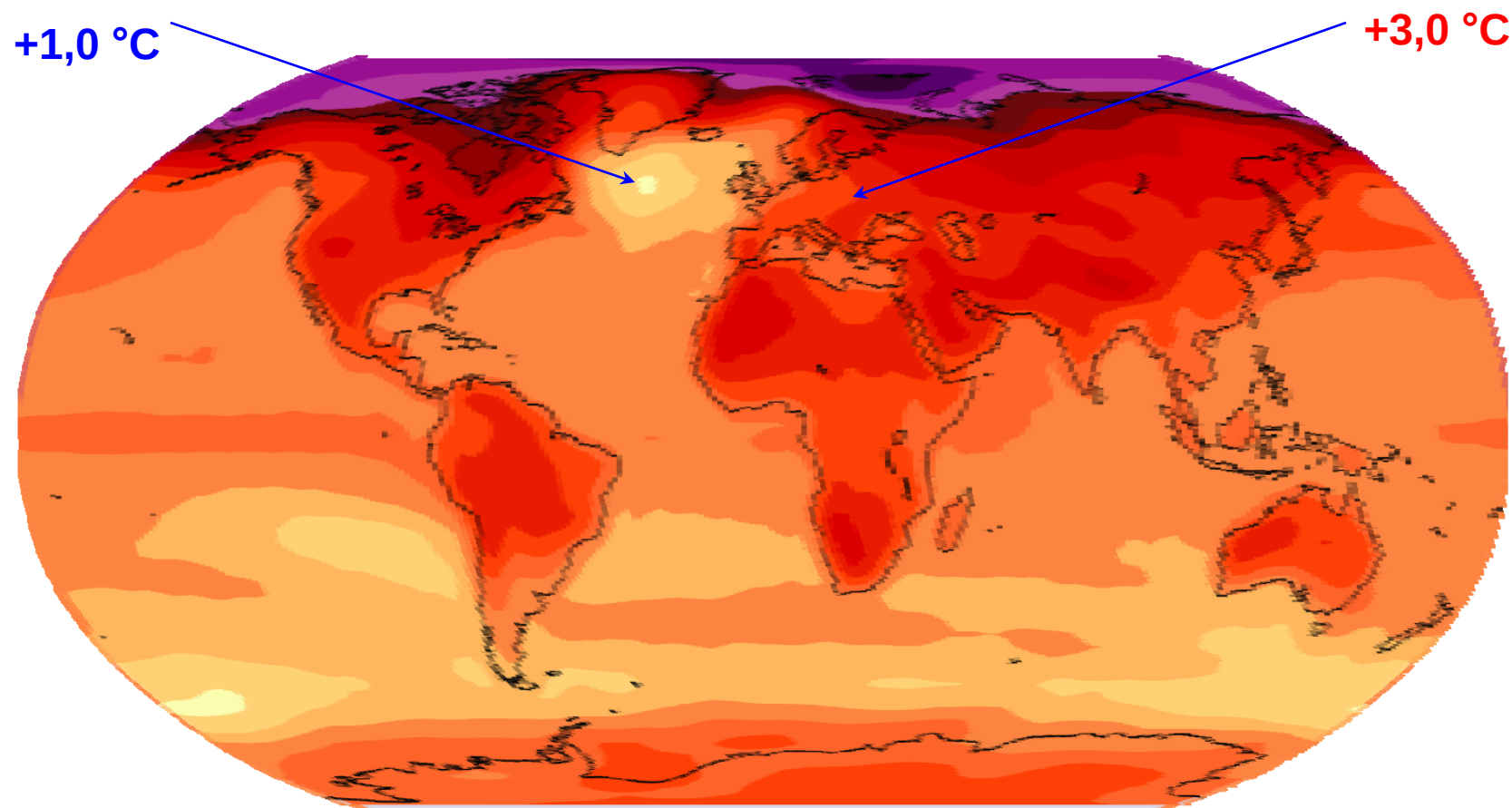
Scenáre zmeny klímy
(priemer na Zemi, scenár je niečo úplne iné ako predpoveď počasia)

Nepriame odhady

Priame merania



Geographical pattern of surface warming

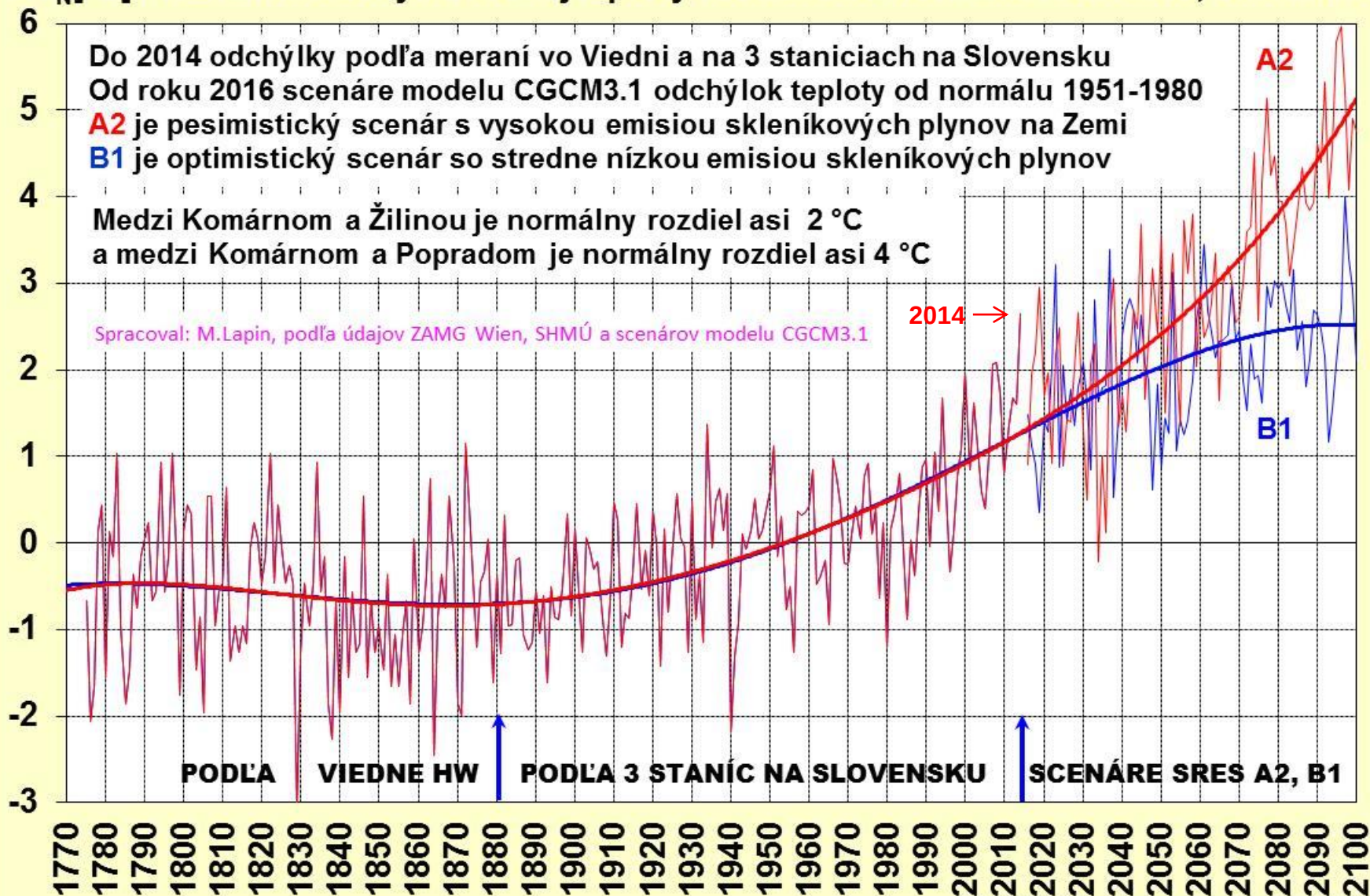


SYR AR4, IPCC 2007

(°C)

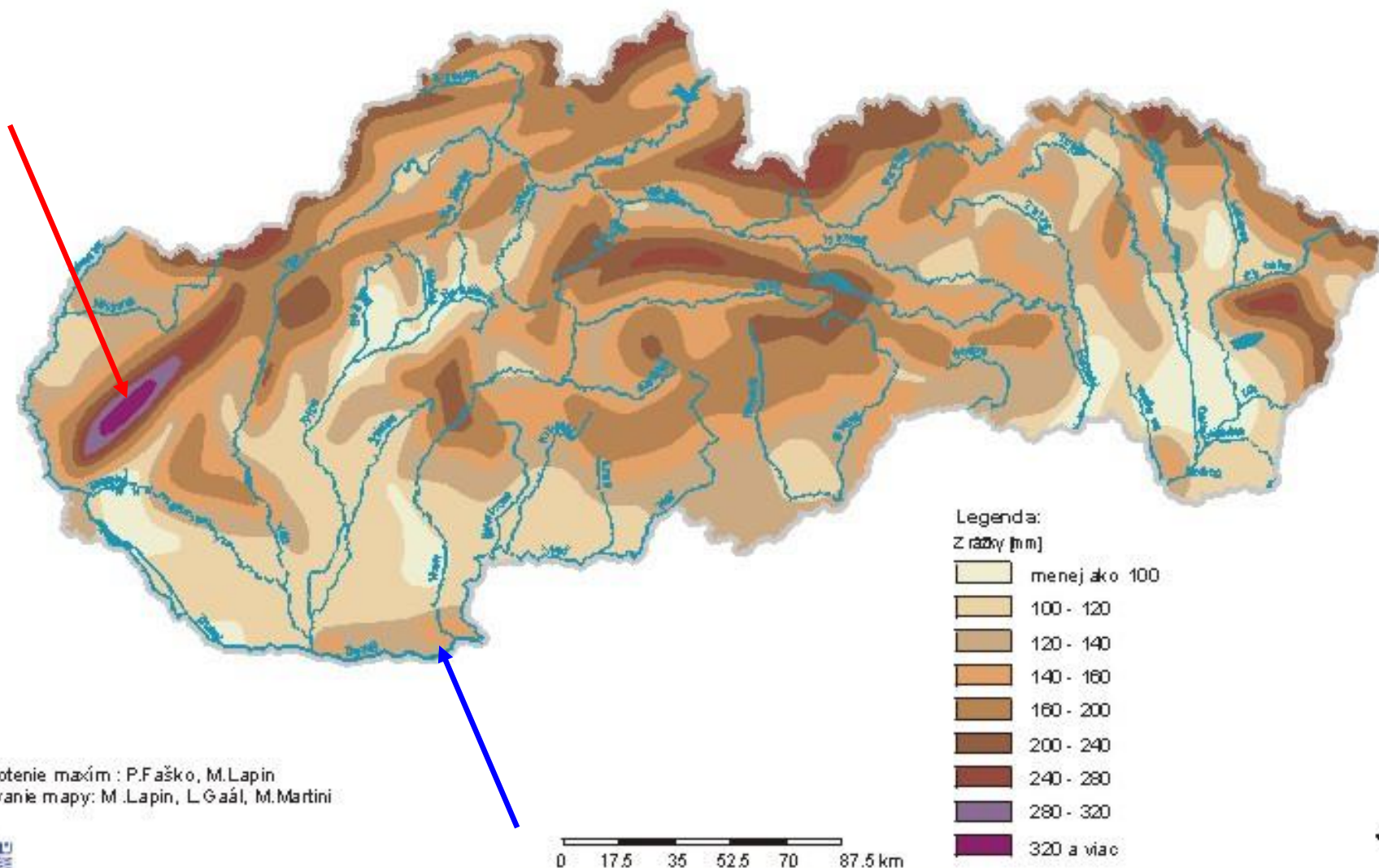
ZMENY TEPLOTY VZDUCHU NA SLOVENSKU

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



Ročné maximá 5-denných úhrnov zrážok
s pravdepodobnosťou opakovania 1x za 100 rokov

Zvýšenie úhrnov o 20-40% do r. 2100 !



OČAKÁVAME ZMENU KLÍMY, AKÉ MÔŽU BYŤ DÔSLEDKY ?

- Je isté, že bude naďalej pokračovať emisia skleníkových plynov a tým aj otepľovanie dolnej vrstvy atmosféry viac ako vrstiev vyšších:
 - 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
 - To sa prejaví tak na zmene charakteru tropických a mimotropických cyklón ako aj veľkosti búrkových oblakov
 - **Výskyt epizód sucha sa stane takmer celosvetovým problémom**
-

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 °C za 10 rokov
 - Prirodzený rozdiel medzi Komárom a Žilinou je 2 °C
 - Už doteraz sa oteplilo na Slovensku za 130 rokov asi o 2 °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, častejší bude ale výskyt sucha vo vegetačnom období roka**
-

1. ČO MÔŽEME UROBIŤ ?

- V zásade máme 3 možnosti reakcie na klimatickú zmenu, prípadne na zmeny klímy (antropogénne podmienená klimatická zmena + prirodzené zmeny klímy) – **tu neuvádzam konkrétne príklady !**
- **1) Nevenovať tomuto problému žiadnu pozornosť** a správať sa tak ako keby existovali len prirodzené zmeny klímy – stacionárny stav
- **2) Robiť adaptačné opatrenia na očakávanú zmenu klímy** v súlade s odporúčanými scenármi – pri menej významných aktivitách na stredný scenár a pri významných na najnepriaznivejší scenár
- **3) Robiť opatrenia na spomalenie človekom zapríčinennej klimatickej zmeny (MITIGAČNÉ OPATRENIA** - redukcia emisie skleníkových plynov (GHGs) do atmosféry, zmiernenie negatívnych zásahov do využívania krajiny, zvýšenie biosférického, prípadne iného zachytu CO₂ z atmosféry, zníženie úniku GHGs z prirodzených/umelých zásobníkov)

Poznámka: Kým adaptačné opatrenia môže robiť nezávisle od zvyšku sveta každá krajina, každé mesto, každá inštitúcia a dokonca každý jednotlivý obyvateľ Zeme, mitigačné opatrenia majú význam len vtedy, ak sa robia **koordinovane na celej Zemi**, pričom sa zohľadní sociálna a historická spravodlivosť medzi krajinami a obyvateľmi regiónov.

2. ČO MÔŽEME ZOHL'ADNIŤ ?

- Je rast skleníkového efektu zapríčinený ľudskými aktivitami ?
- Môžeme **identifikovať (odlíšiť)** prirodzený a antropogénny vplyv ?
- Je oteplenie klímy v strednej Európe pozitívne alebo nie ?
- Môžeme zmierniť klimatickú zmenu redukciou emisie GHGs ?
- Môžeme odhadnúť cost/benefit v prípade zmierňovania KZ ?
- V akom predstihu je treba pripravovať adaptačné opatrenia ?
- Môžeme odhadnúť cost/benefit v prípade adaptačných opatrení ?
- Existujú metódy odhadu možných dôsledkov KZ v socio-ekonomických sektoroch, v udržateľnom rozvoji, v prirodzených ekosystémoch alebo pri miznutí biologických druhov ?
- Je ekonomická prosperita dôležitejšia ako biodiverzita alebo zdravie ľudí a ekosystémov ?
- **Iné otvorené otázky ?**
- Môže klimatická zmena zapríčiniť veľký počet utečencov ?
- Môže klimatická zmena a súvisiace **Adaptačné a Mitigačné opatrenia** niekde ohroziť potravinovú bezpečnosť a zdroje pitnej vody ?

3. KLIMATICKÁ ZMENA JE NAOZAJ V NAŠICH RUKÁCH !

- Spotreba energie na jednotku produkcie je v SR 1,7 až 1,9 –krát vyššia ako v pôvodných krajinách EU15 !
- Nové technológie a zariadenia môžu ušetriť > 20% energie !
- Žiadne veľké investície nepotrebujeme na úspory až 50% energie v domácnosti (kúrenie, teplá voda, klimatizácia, spotrebiče) !
- Nové dopravné prostriedky ušetria > 20% energie !
- Obnoviteľné zdroje energie ušetria > 20% fosílnych palív !
- Recyklovanie môže ušetriť energiu, suroviny a znížiť emisiu CO₂ a ostatných GHGs !
- Tovary s dlhou záručnou lehotou ušetria energiu a suroviny, čo znamená aj redukciu emisie GHGs !
- Lokálna produkcia tovarov bez náročnej dopravy a skladovania!
- Zlepšenie disciplíny a organizácie práce tiež ušetrí veľa energie !
- Každá krajina má individuálne špecifiká úspor energie, surovín a redukcie emisie GHGs (jadrová energetika, hydroenergetika, využitie odpadovej biomasy, slnko, vietor, geotermálne teplo) !

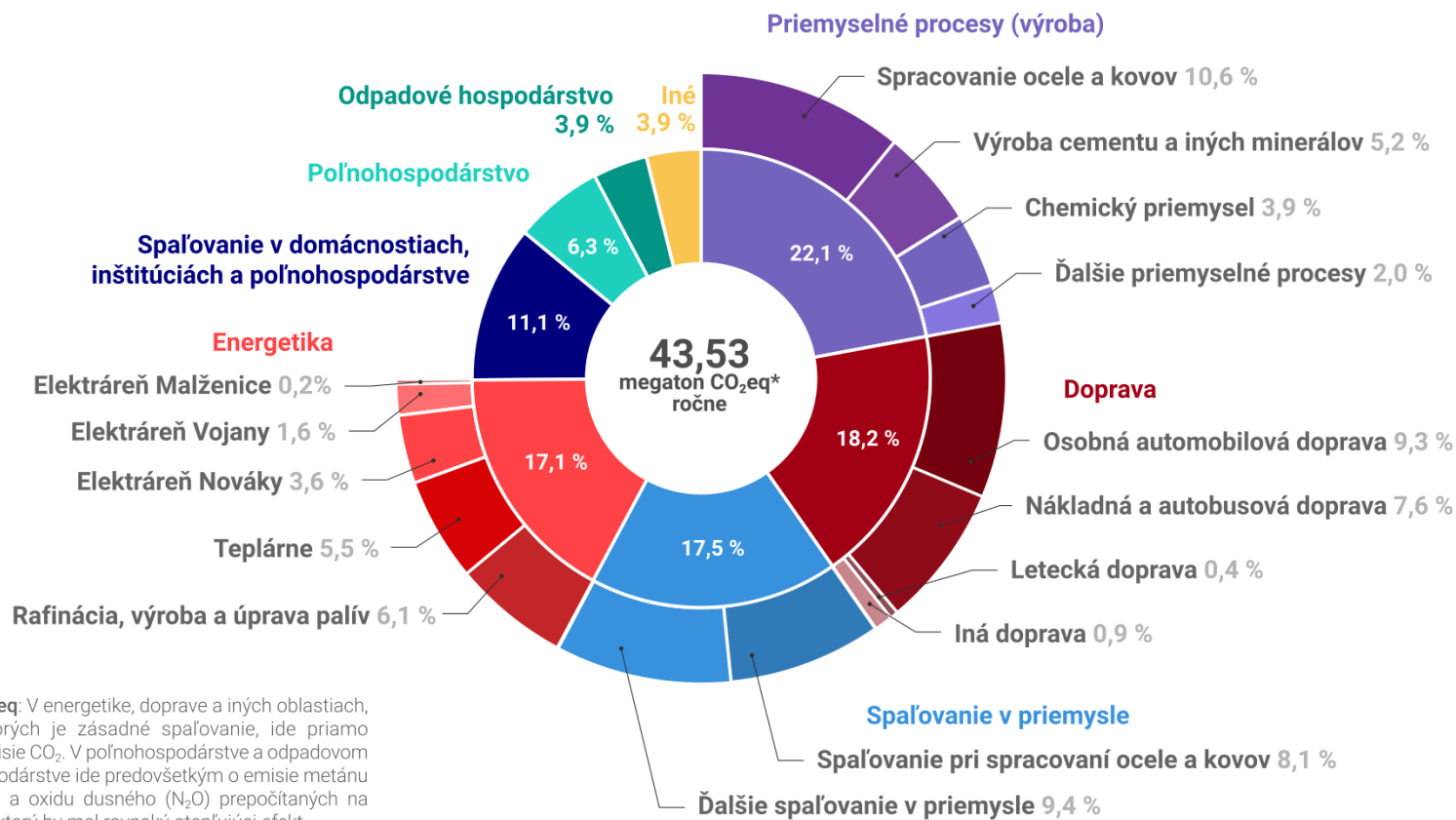
ADAPTAČNÉ OPATRENIA

- 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 1951-2020 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!

Určitou pomôckou môže byť prehľad emisie skleníkových plynov z rôznych aktivít v SR (rok 2018, prepočítané na CO₂)

EMISIE SKLENÍKOVÝCH PLYNOV SLOVENSKA PODĽA SEKTOROV

Celkové emisie Slovenska za rok 2018



*CO₂eq: V energetike, doprave a iných oblastiach, v ktorých je zásadné spaľovanie, ide priamo o emisie CO₂. V poľnohospodárstve a odpadovom hospodárstve ide predovšetkým o emisie metánu (CH₄) a oxidu dusného (N₂O) prepočítaných na CO₂, ktorý by mal rovnaký otepľujúci efekt.

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
- Scenáre vývoja hydrologickej bilancie, evapotranspirácie a aj sucha sú zložitým problémom – základný vývoj je ale tiež zrejmý – rast potenciálnej evapotranspirácie, dlhšie a častejšie epizódy sucha
- Regionálne cirkulačné modely poskytujú spoľahlivejšie výsledky – majú realistickejšiu orografiu a aj hydrologický cyklus
- To vplýva na spoľahlivosť odhadu možného vývoja vlhkosti vzduchu, zrážok, evapotranspirácie a vlhkosti pôdy aj pre SR
- Vždy je ale potrebné použiť viaceré modely a emisné scenáre
- Štatistický downscaling výstupov zo siete 25x25 km umožňuje pomerne detailne stanoviť aj možný vývoj sýtosťného doplnku
- To je nevyhnutný krok pred výpočtom scenárov potenciálnej evapotranspirácie, skutočnej evapotranspirácie a vlhkosti pôdy
- Ďalší vývoj týchto metód budeme smerovať k analýze časovej a priestorovej variability a extrémov prvkov škodlivého počasia

ĎAKUJEM ZA POZORNOSŤ

**Ďalšie informácie z danej problematiky
nájdete v literatúre a na stránkach:**

www.milanlapin.estranky.sk

<https://www.facebook.com/milan.lapin.98/>

<https://www.facebook.com/groups/690780767673057>

Diskusná skupina Klimatická zmena

Alebo použite:

E-mail: lapin@fmph.uniba.sk