

GLOBÁLNE OTEPĽOVANIE A DÔSLEDKY KLIMATICKEJ ZMENY NA SLOVENSKU

Čo vieme, aké sú ešte neistoty, aké môžu byť dôsledky?

Čo môžeme s tým urobiť (adaptácia a mitigácia) ?

Milan LAPIN

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky,

Univerzita Komenského, Bratislava

**lapin@fmph.uniba.sk , www.dmc.fmph.uniba.sk ,
www.milanlapin.estranky.sk, www.ipcc.ch, www.shmu.sk**

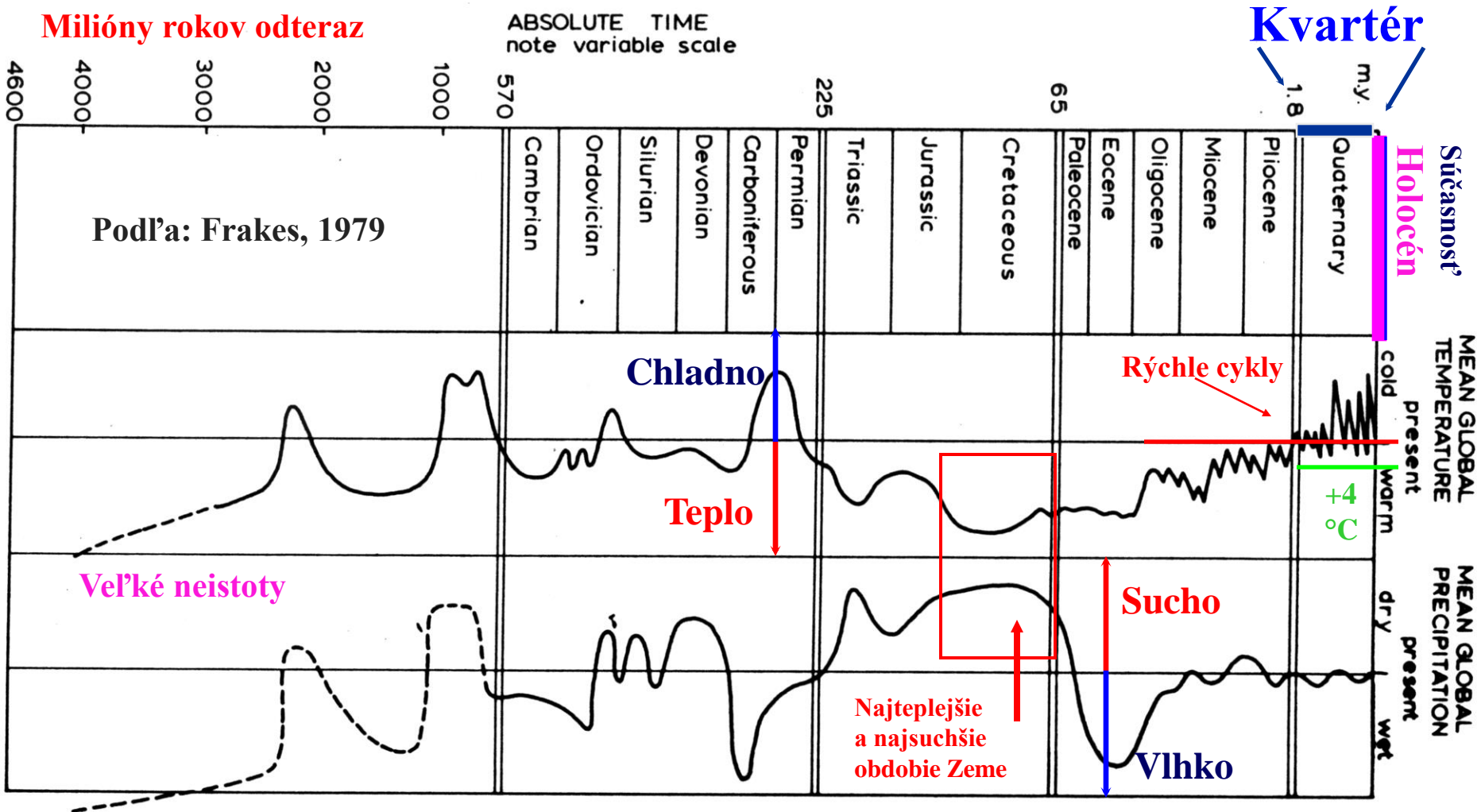
Základné pojmy - Definícia M a K

- **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**

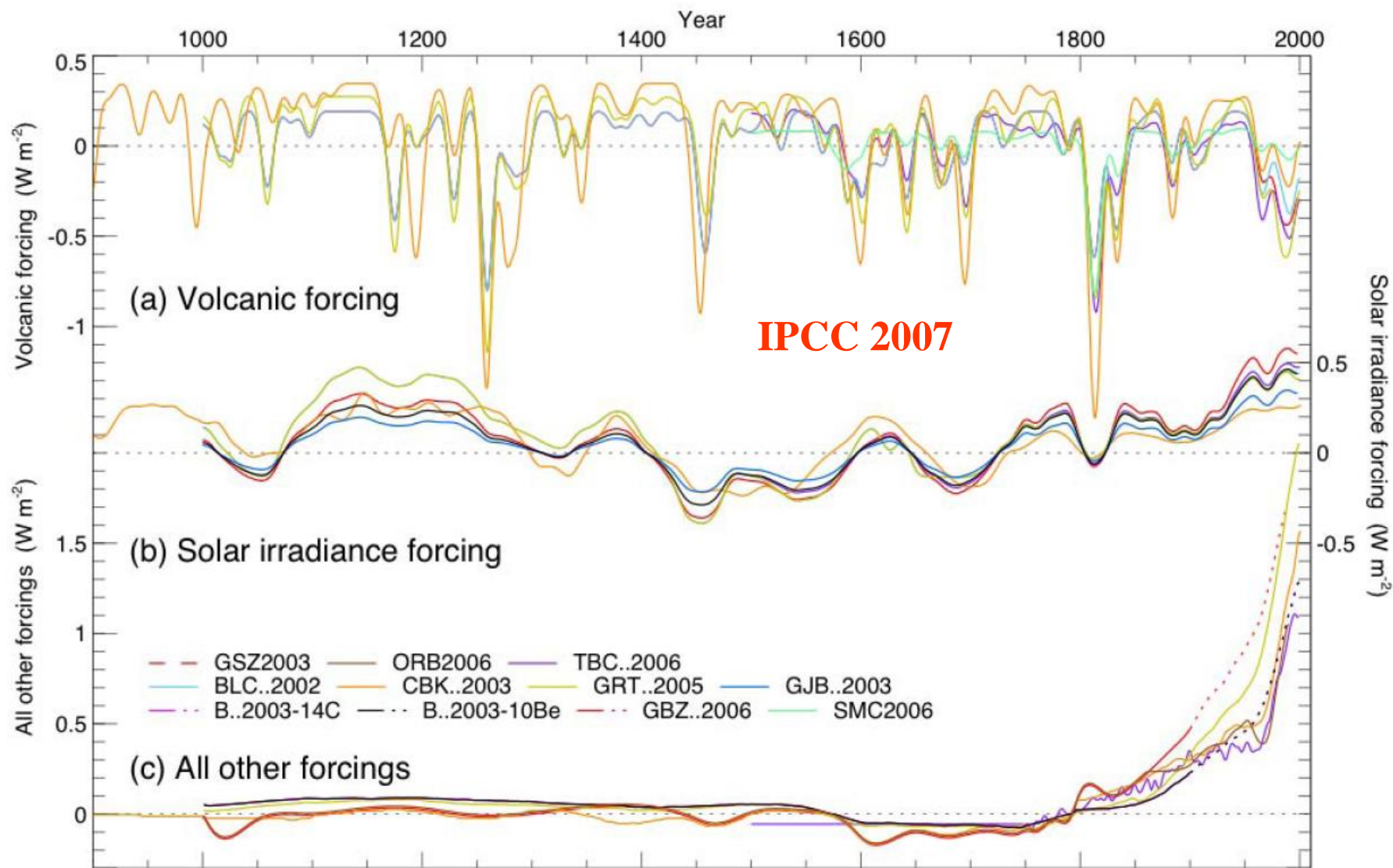
DEFINÍCIE ZMIEN KLÍMY, KOLÍSANIA KLÍMY A PREMENLIVOSTI KLÍMY

- **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 procesov (El Niño, LaNiña, NAO, AO, AAO, PDO a rad iných atmosférických a oceánických oscilácií)
- Zmena klímy je iba tá časť zo všetkých zmien klímy, ktorú spôsobil človek zmenou skleníkového efektu atmosféry (emisie skleníkových plynov a aerosólov, využívanie krajiny)

TEPLOTA VZDUCHU A ATMOSFÉRICKÉ ZRÁŽKY NA ZEMI V PRIEMERE VO VŠETKÝCH GEOLOGICKÝCH DOBÁCH



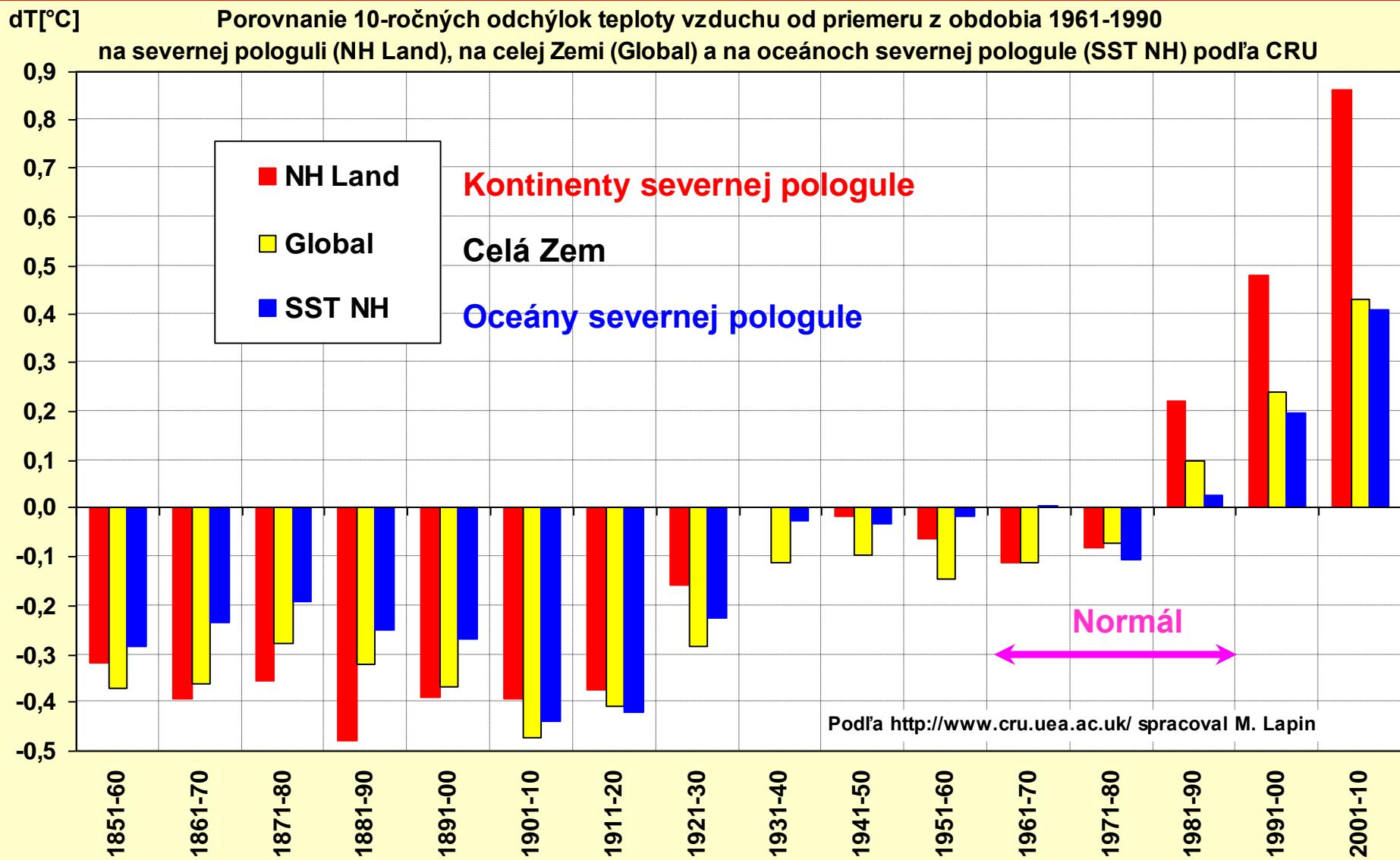
HLAVNÉ FAKTORY VPLÝVAJÚCE NA GLOBÁLNU KLÍMU OD ROKU 900 – VULKANICKÉ ERUPCIE, SLNEČNÁ AKTIVITA A VPLYV ČLOVEKA



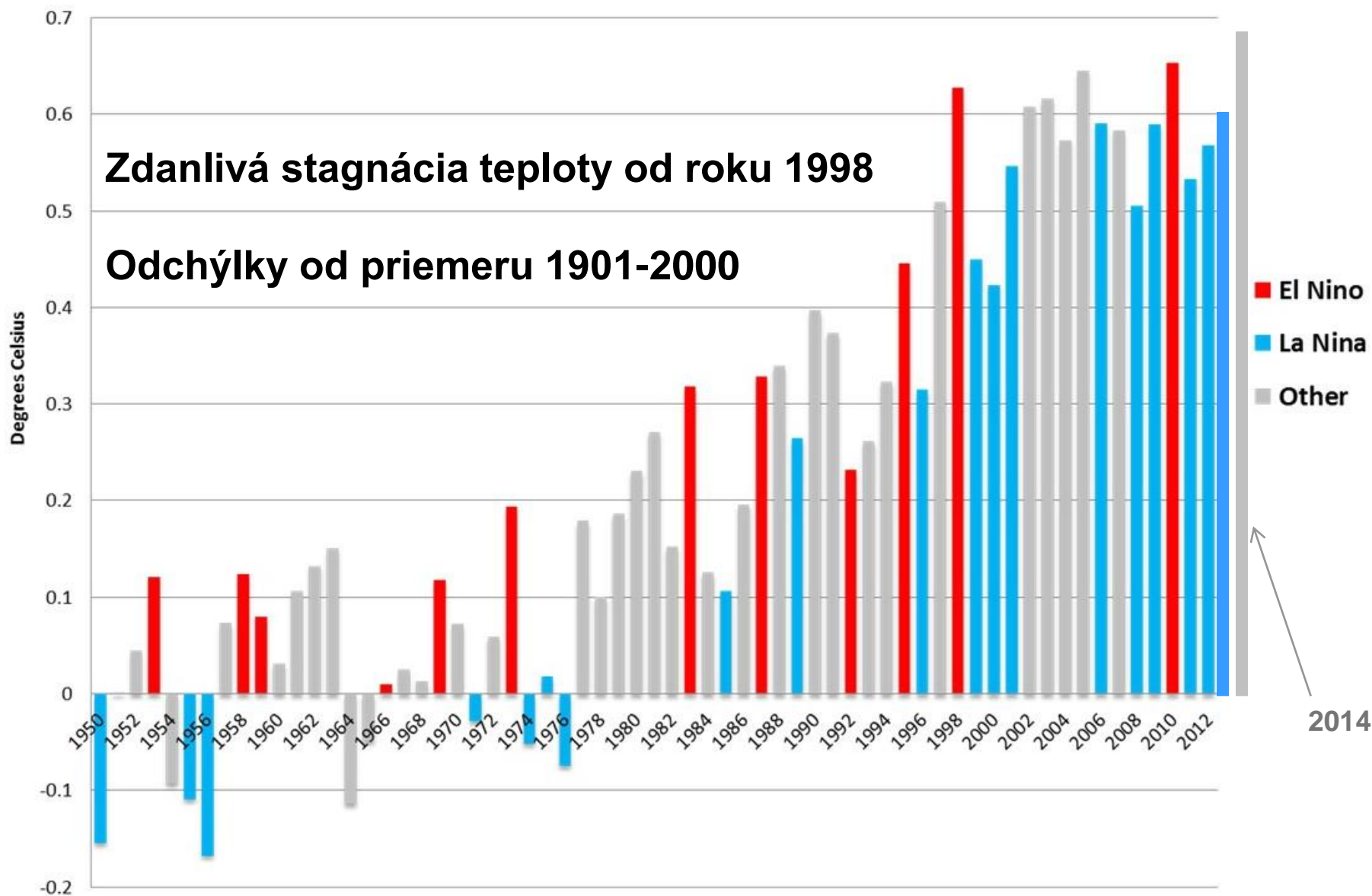
ÚVOD DO PROBLEMATIKY ADAPTÁCIE NA KLIMATICKÚ ZMENU

- 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 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 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**. Vždy je potrebná aj ekonomická analýza - „**cost-benefit assessment**“

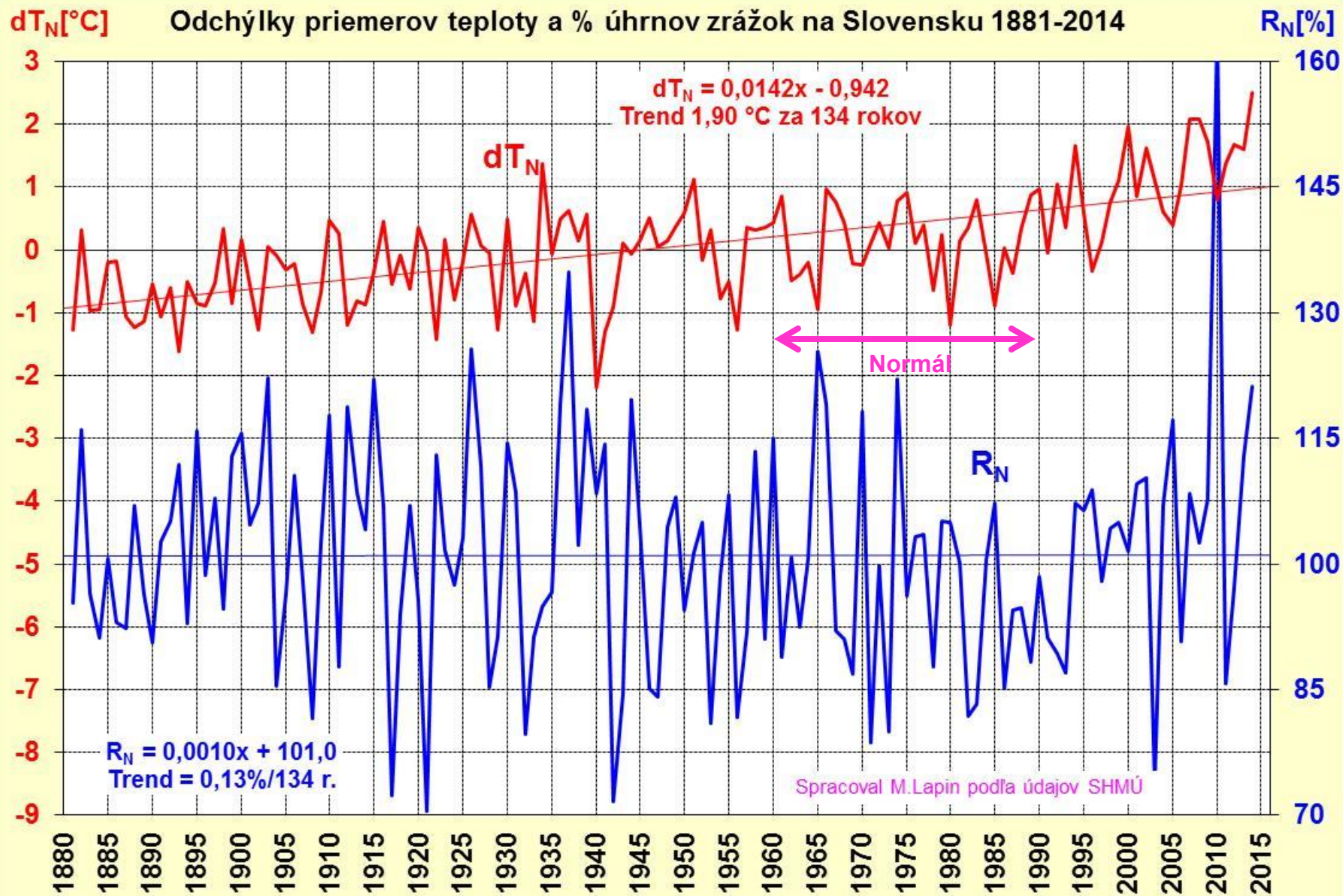
ODCHÝLKY 10-ROČNÝCH PRIEMEROV TEPLoty VZDUCHU NA ZEMI A NA SEVERNEJ POLOGULI OD NORMÁLU 1961-1990



Annual Global Temperature Anomalies 1950 - 2012

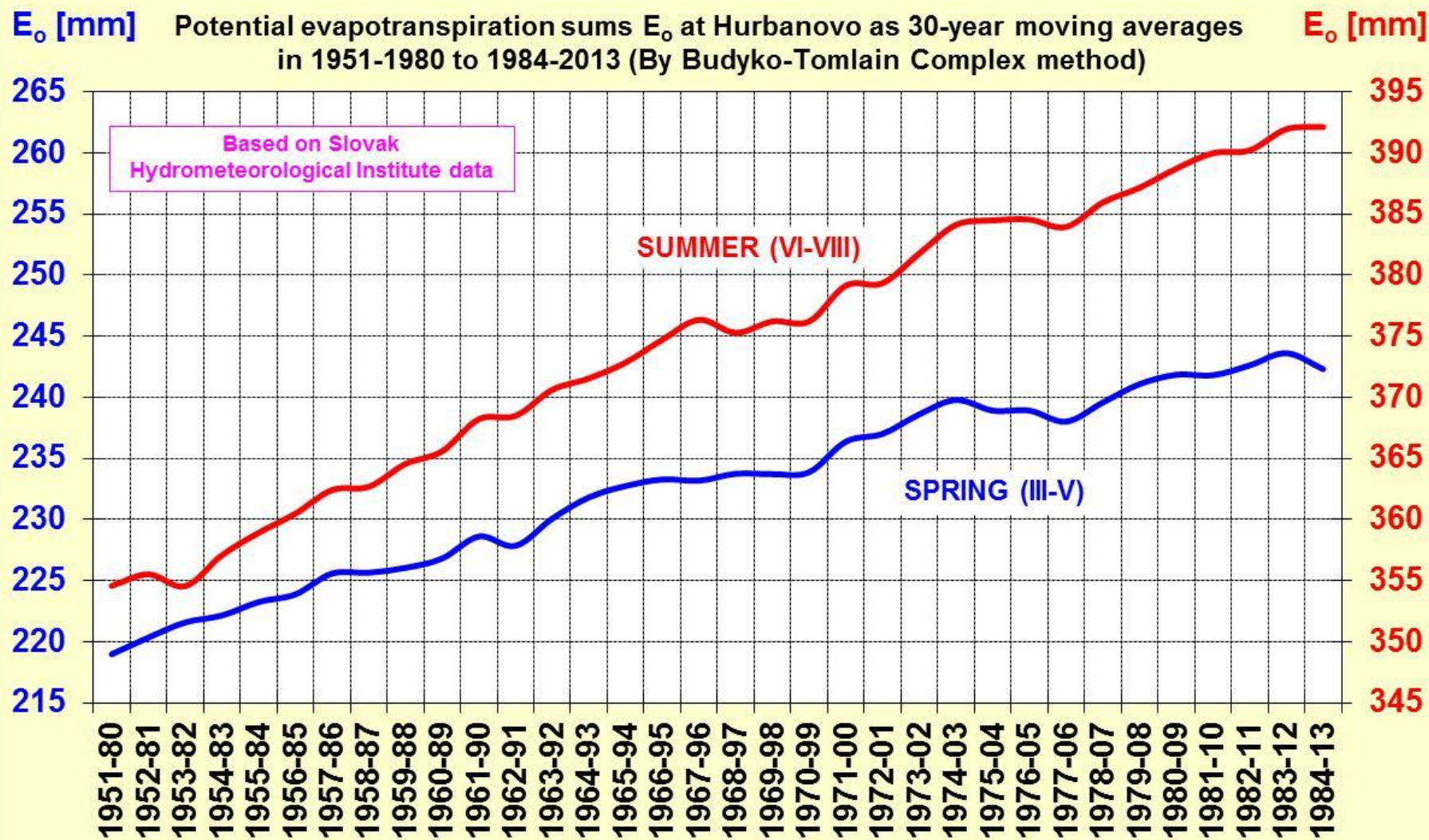


ROČNÉ PRIEMERY TEPLOTY (T) V SR A ÚHRNY ZRÁŽOK (R) V SR



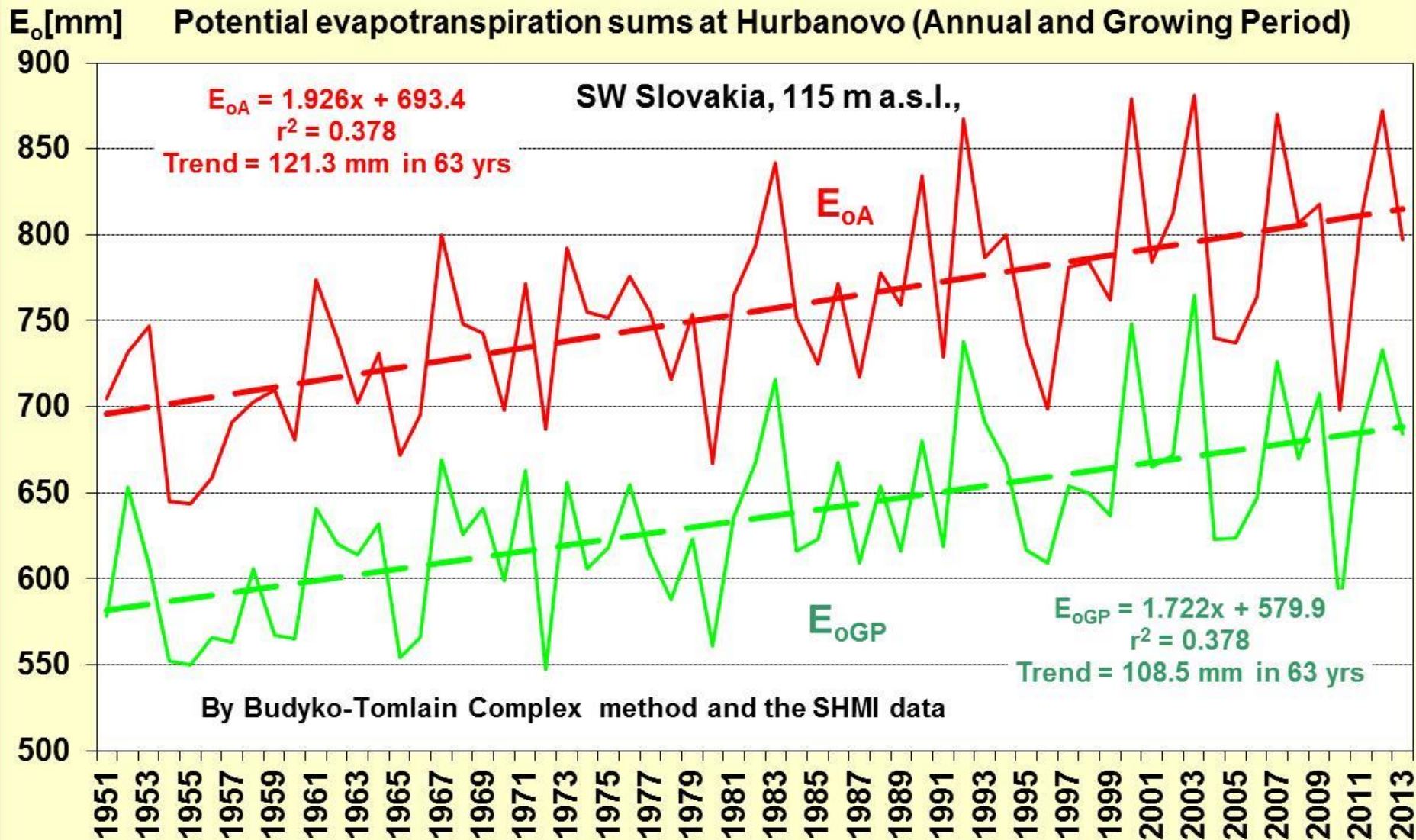
SEZÓNNE PRIEMERY POTENCIÁLNEJ EVAPOTRANSPIRÁCIE V HURBANOVE

Je vidieť, že sa naplňajú scenáre aj v tomto prípade, 30-ročné priemery E_o vzrástli za 63 rokov asi o 10%, trend ročných súm až 121 mm



SEZÓNNE PRIEMERY POTENCIÁLNEJ EVAPOTRANSPIRÁCIE V HURBANOVE

Je vidieť, že sa naplňajú scenáre aj v tomto prípade, 30-ročné priemery E_o vzrástli za 63 rokov asi o 10%, trend ročných súm až 121 mm



EŠTE DODATOK K ÚVODU

- Klimatická zmena spôsobená aktivitami človeka je len jednou z viacerých ďalších zmien klímy, ktoré majú však iba prirodzený pôvod. V 5. Správe IPCC (2013) sa už ale konštatuje 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, zásobovanie potravinami, 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 1 °C za 100 rokov (oteplenie alebo ochladenie v dlhodobých priemeroch) je bezproblémová a do 2 °C je ešte v intervale normálnych adaptačných schopností prirodzených ekosystémov a aj väčšiny socio-ekonomických sektorov takmer na celej Zemi.
- 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).

NAJPRV ALE, AKÝ TO MÁ VÝZNAM

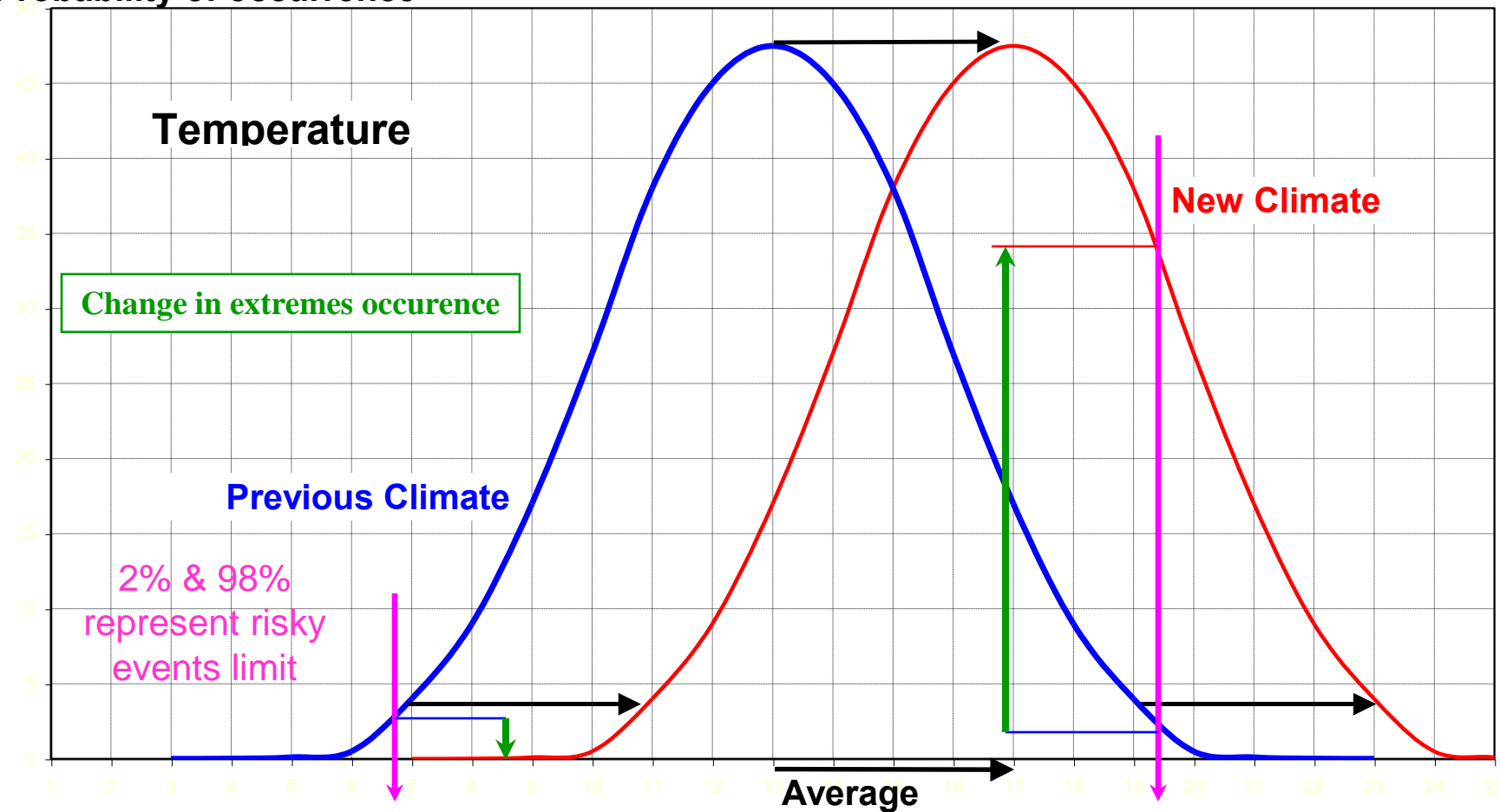
- Zmena klímy (ZK) sa prejaví nielen zmenou dlhodobých priemerov ale aj **zmenou distribučných kriviek** klimatických a meteorologických prvkov, teda aj výskytu extrémnejších (škodlivých) prípadov počasia
- **To bude mať nepochybne veľký vplyv na možnosti adaptácie ekosystémov, sociálnych a ekonomických aktivít človeka – rýchlosť klimatickej zmeny je tu oveľa dôležitejšia ako jej veľkosť**
- **Okrem toho sa prejaví ZK aj zmenou chemizmu prostredia v oceánoch (ale aj na kontinentoch), acidifikácia je vplyvom rastu koncentrácie CO_2 , N_2O a SO_2 v prostredí, dôsledkom je napríklad aj zníženie pH atmosférických zrážok a vody v hydrologickom cykle**

MOŽNOSTI ZMENY KLÍMY – extrémny

2% pravdepodobnosti prekročenia

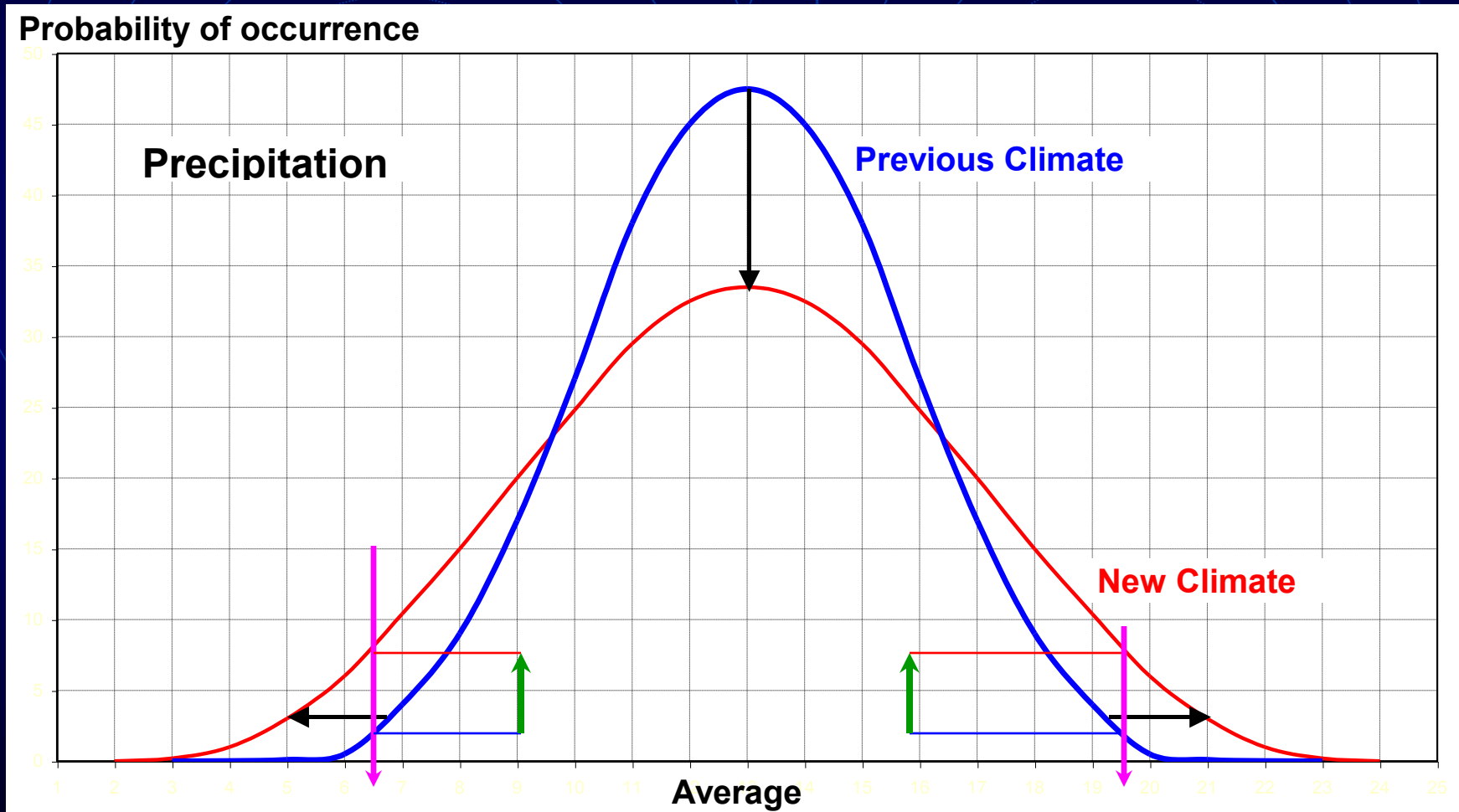
(Teplota vzduchu, podľa IPCC, 2001)

Probability of occurrence



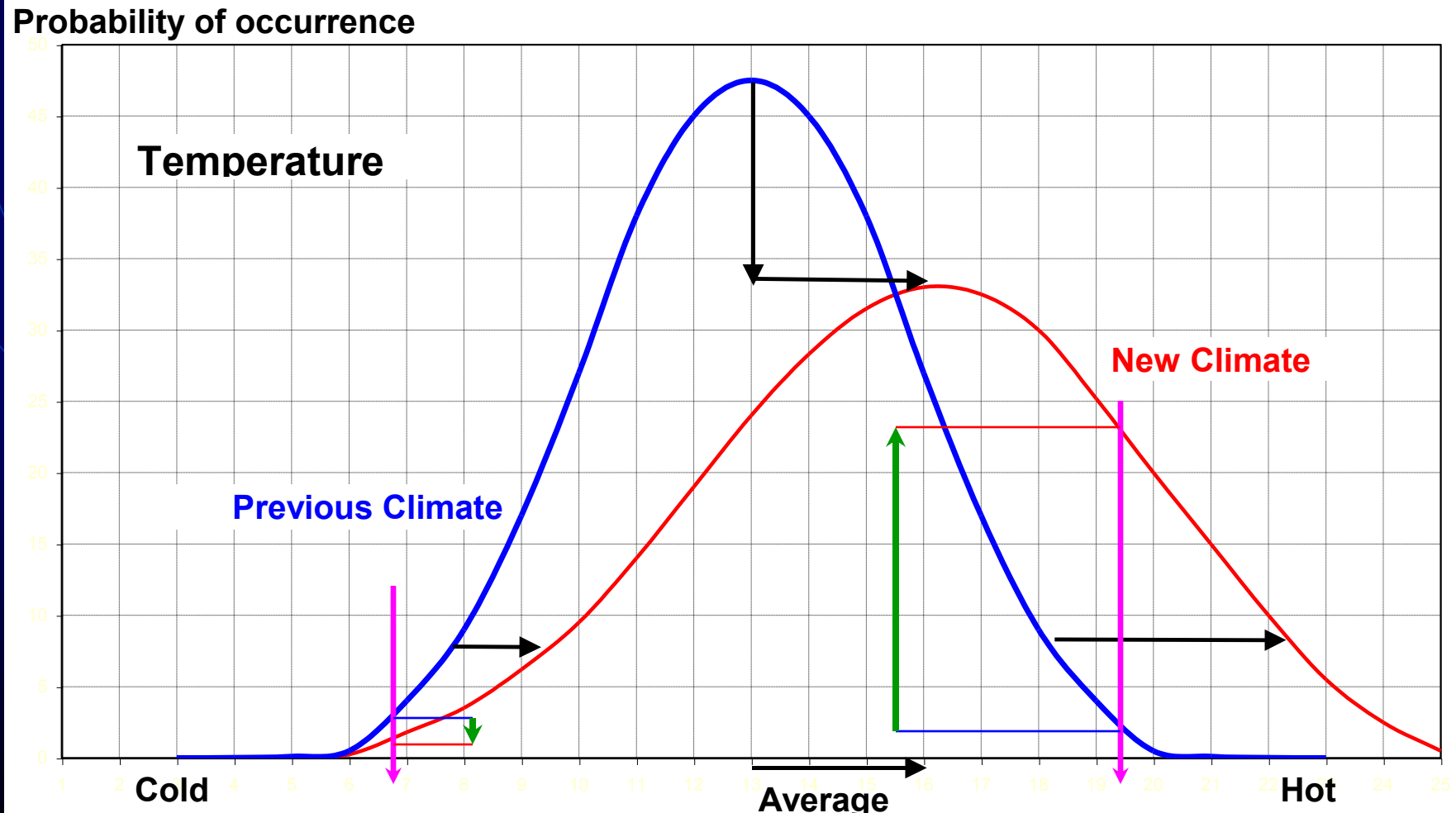
MOŽNOSTI ZMENY KLÍMY - extrémny

(Úhrny zrážok, podľa IPCC, 2001)



MOŽNOSTI ZMENY KLÍMY - extrémny

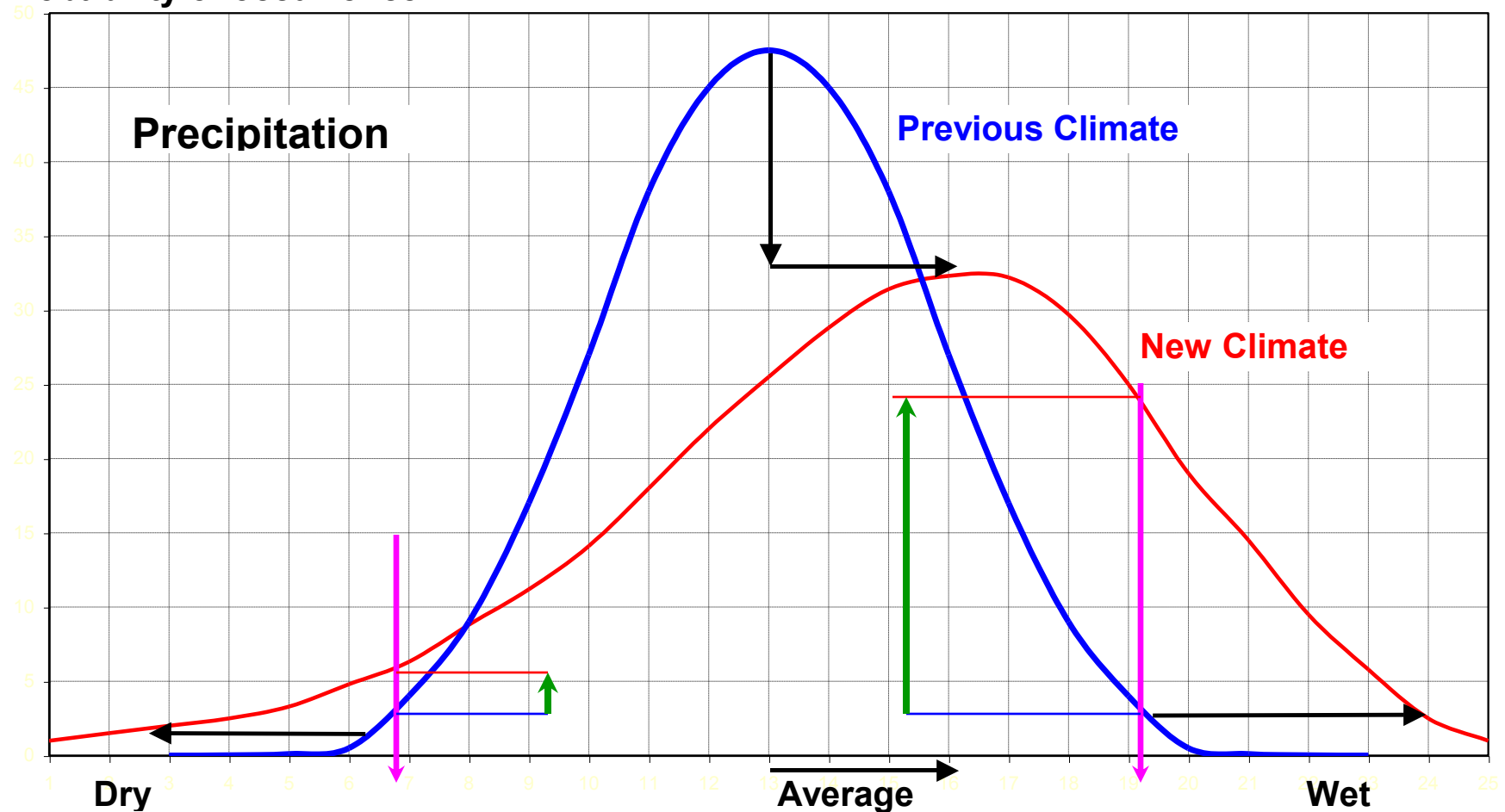
(Teplota vzduchu, podľa IPCC, 2001)



MOŽNOSTI ZMENY KLÍMY - extrémny

(Úhrny zrážok, podľa IPCC, 2001)

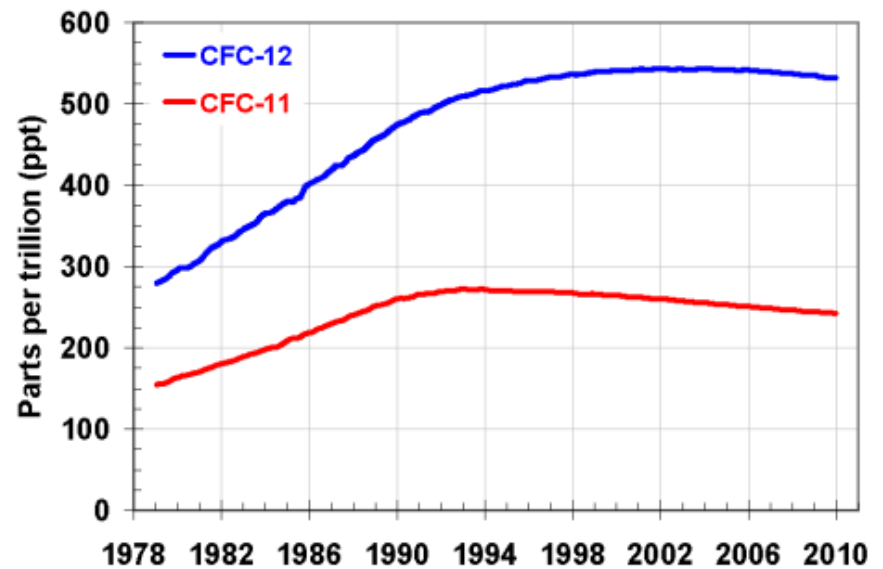
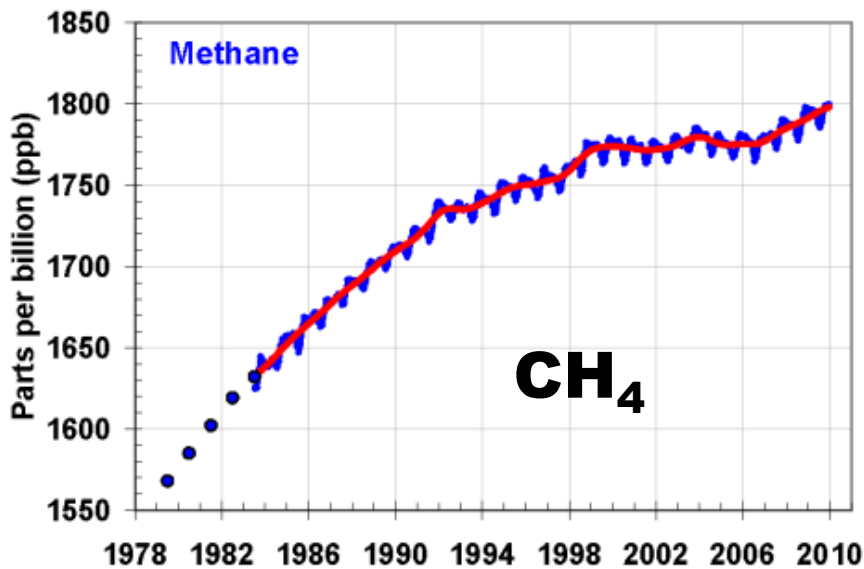
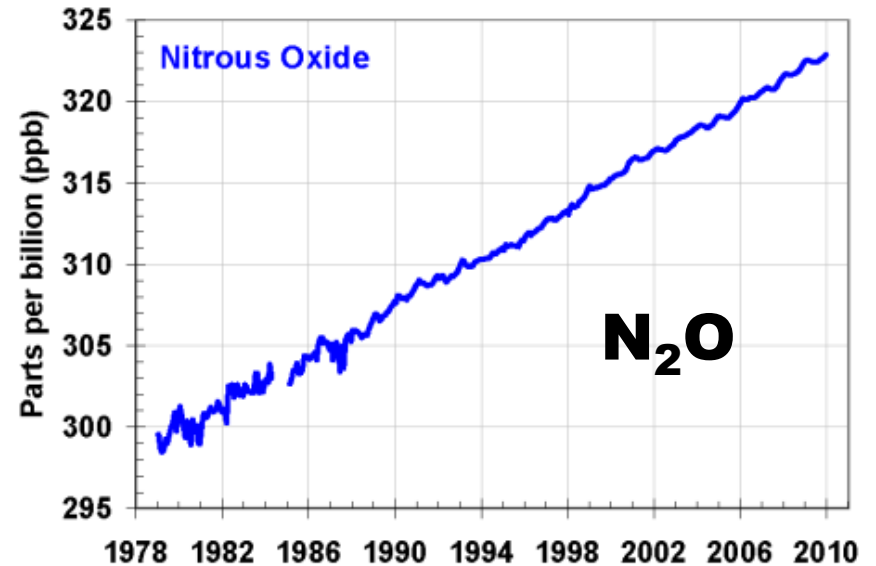
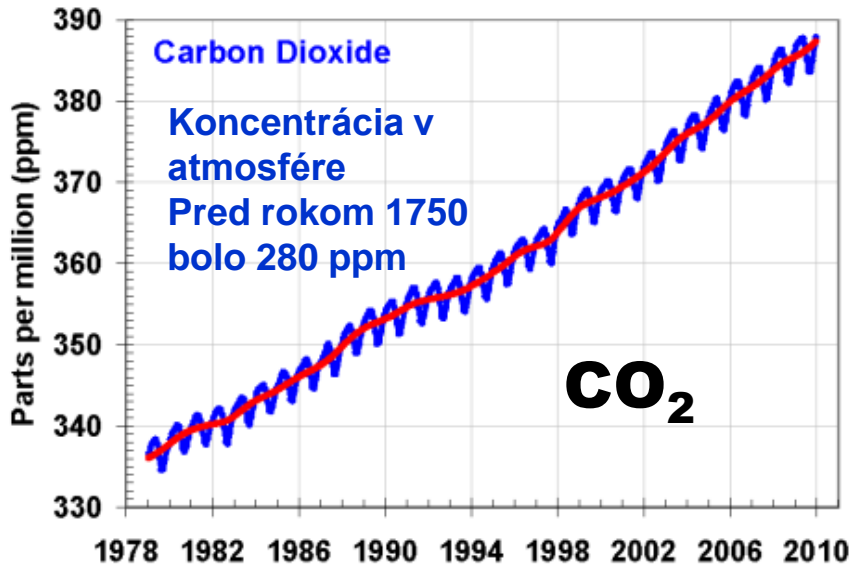
Probability of occurrence



UHLÍKOVÝ CYKLUS NA ZEMI

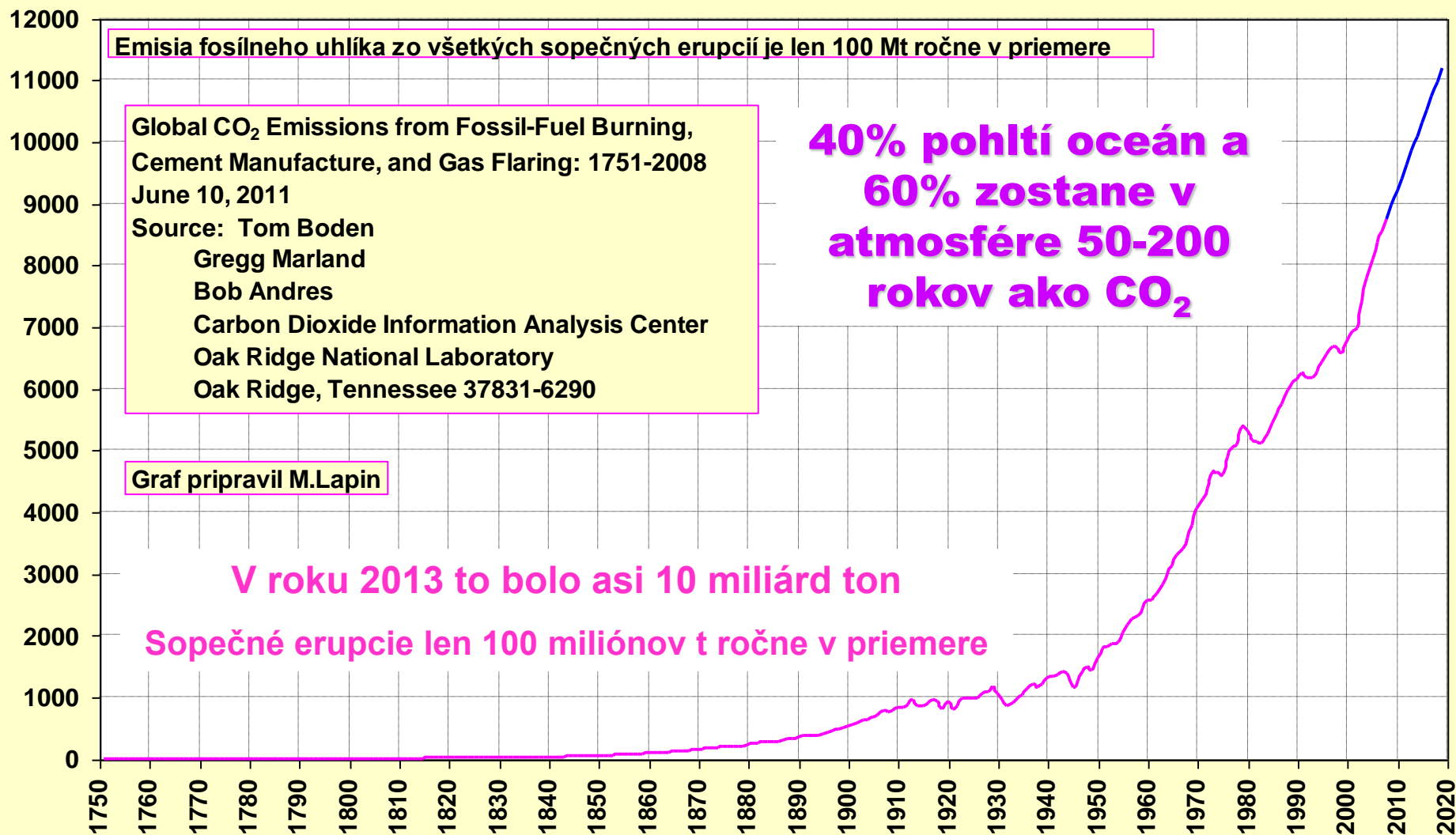
- Pri rozbere tejto problematiky je potrebné venovať sa **prirodzenému uhlíkovému cyklu** a jeho zmenám v dlhodobom časovom horizonte (ide viac ako 200 miliárd ton uhlíka ročne pri výmene medzi atmosférou a povrchom Zeme (pevnina a oceány) a zotrvanie CO₂ ~ 120 r.)
- Kľúčový je odhad podielu **antropogénneho uhlíka**, ktorý sa dostal do globálneho uhlíkového cyklu vplyvom aktivít človeka, tiež jeho historický a budúci vývoj
- Popri uhlíkovom cykle sa sleduje aj vývoj koncentrácie **súvisiacich skleníkových plynov CH₄ a N₂O** a ich ovplyvnenie človekom, tiež ostatných skleníkových plynov
- Odhad scenárov **možného budúceho vývoja emisie a koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére**
- Zosilňovanie skleníkového efektu atmosféry vedie jednoznačne k otepľovaniu a ku zmene klímy na Zemi

TREND RÔZNYCH SKLENÍKOVÝCH PLYNOV

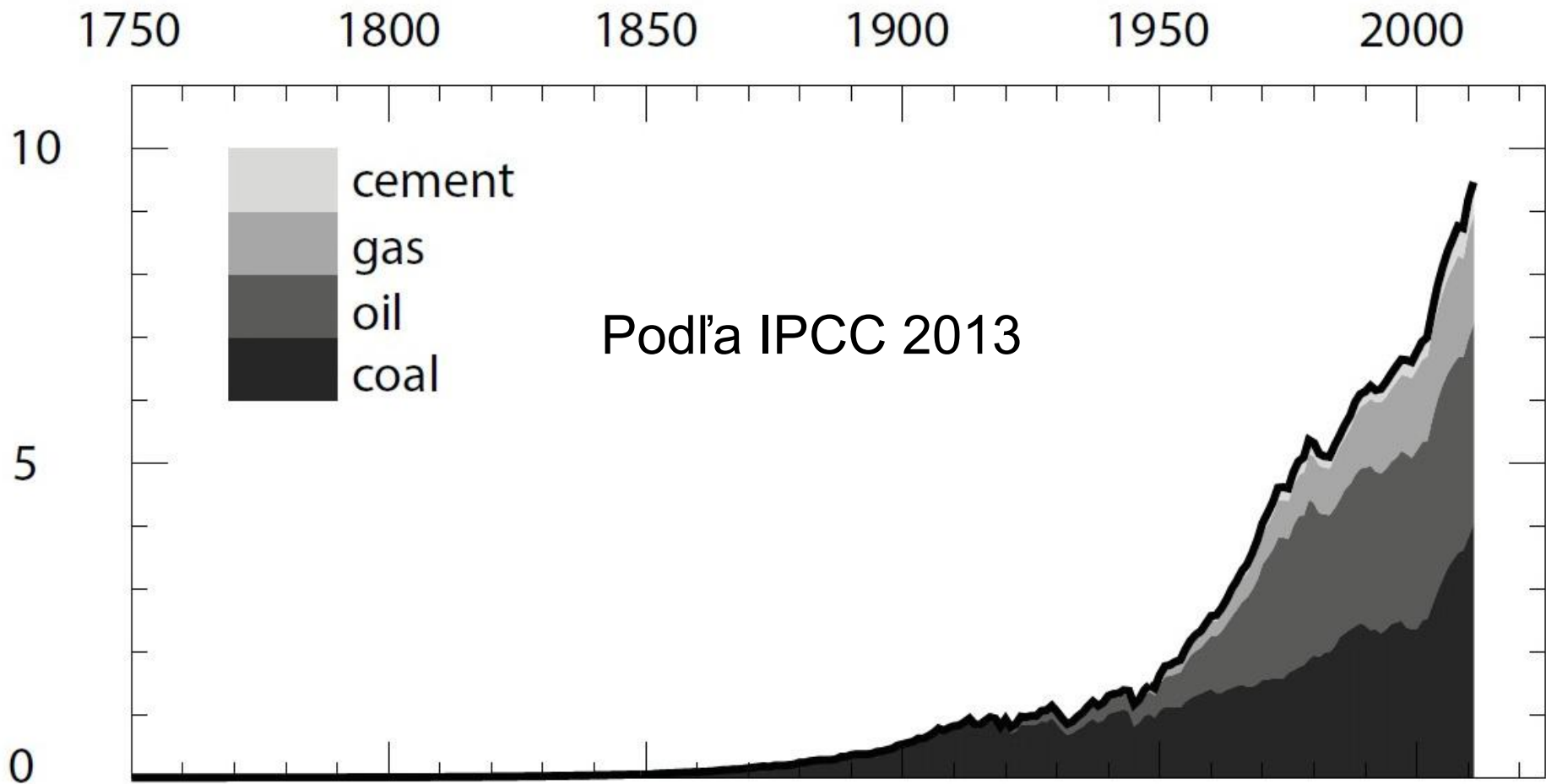


GLOBALNA EMISIA FOSÍLNEHO UHLÍKA V MILIÓNOCH TON V OBDOBÍ 1751-2019 (inventarizácia do 2008, odhad vývoja do roku 2019, možné zvýšenie až o 2% + ničenie lesov)

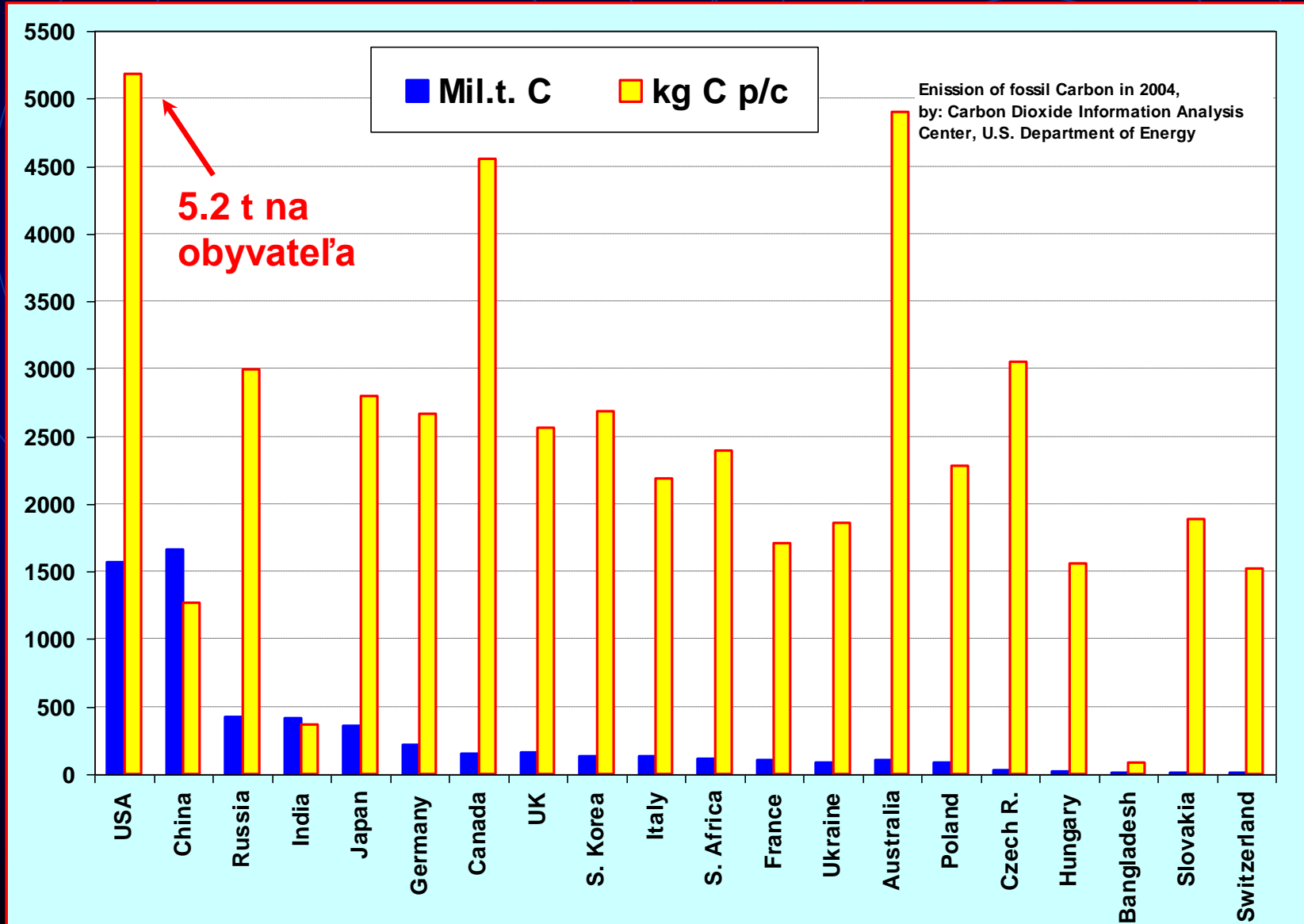
C[Mt] Emisia fosílného uhlíka na celej Zemi v miliónoch ton do roku 2008 a odhad do roku 2019 podľa (CDIAC, USA)



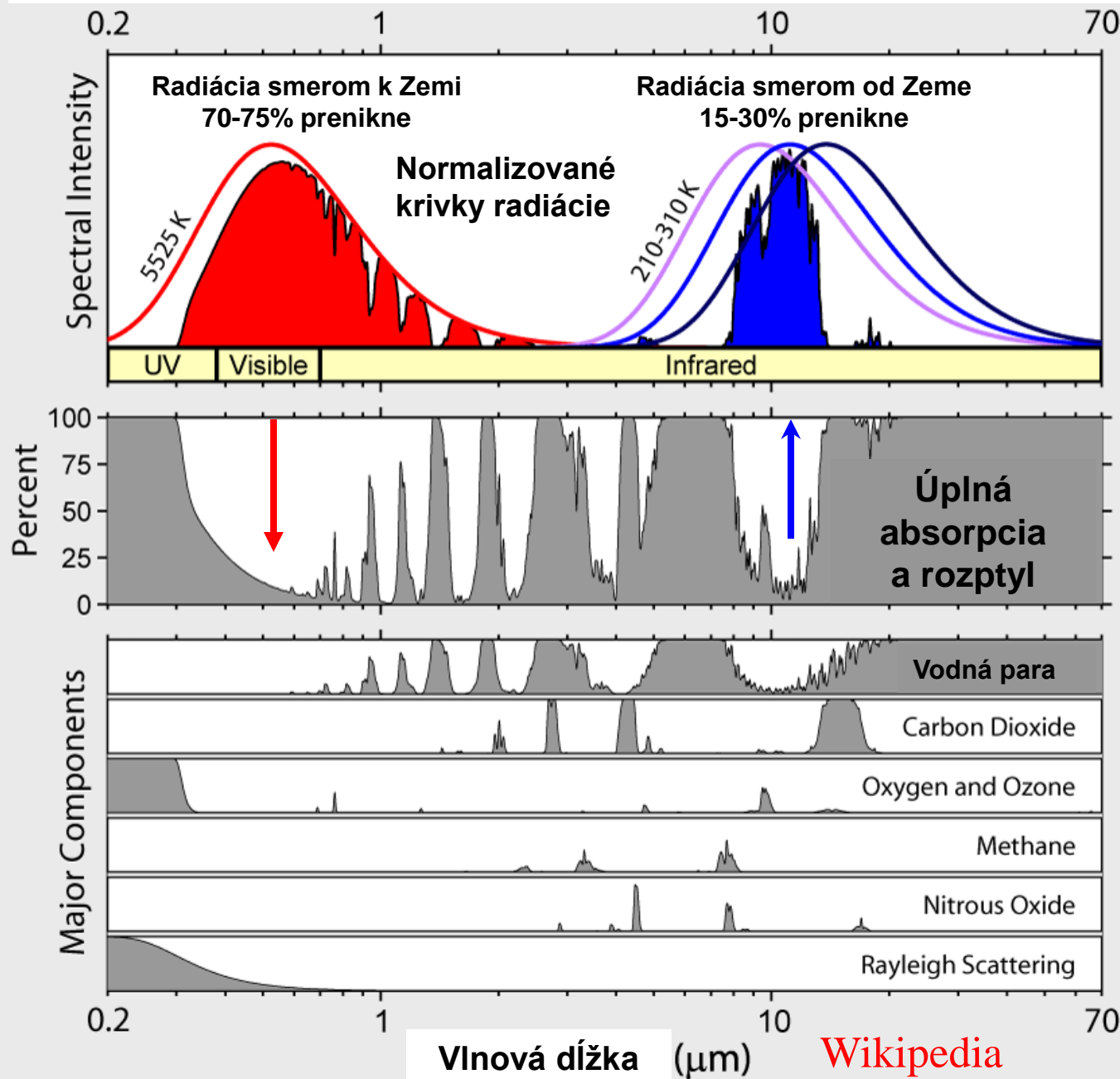
GLOBALNA EMISIA FOSÍLNEHO UHLÍKA V MILIARDÁCH TON V OBDOBÍ 1751-2010 (podľa primárnych zdrojov emisie)



EMISIA FOSÍLNEHO UHLÍKA V MILIÓNOCH TON V ROKU 2006, PRÍSPEVOK VYBRANÝCH KRAJÍN (USA, ČÍNA, RUSKO – celkovo v mil. t a na jedného obyvateľa v kg)



Radiácia prenikajúca cez atmosféru Zeme



Wikipedia

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

MODELOVANIE ZMENY SKLENÍKOVÉHO EFEKTU

**Plyn
odstránime**

H₂O

CO₂

O₃

**Redukcia
sklen. efektu**

36% (72%)

9% (26%)

3% (7%)

**(Prameň: GISS-GCM Model E
simulation)**

(Ak by tam bol plyn samotný)

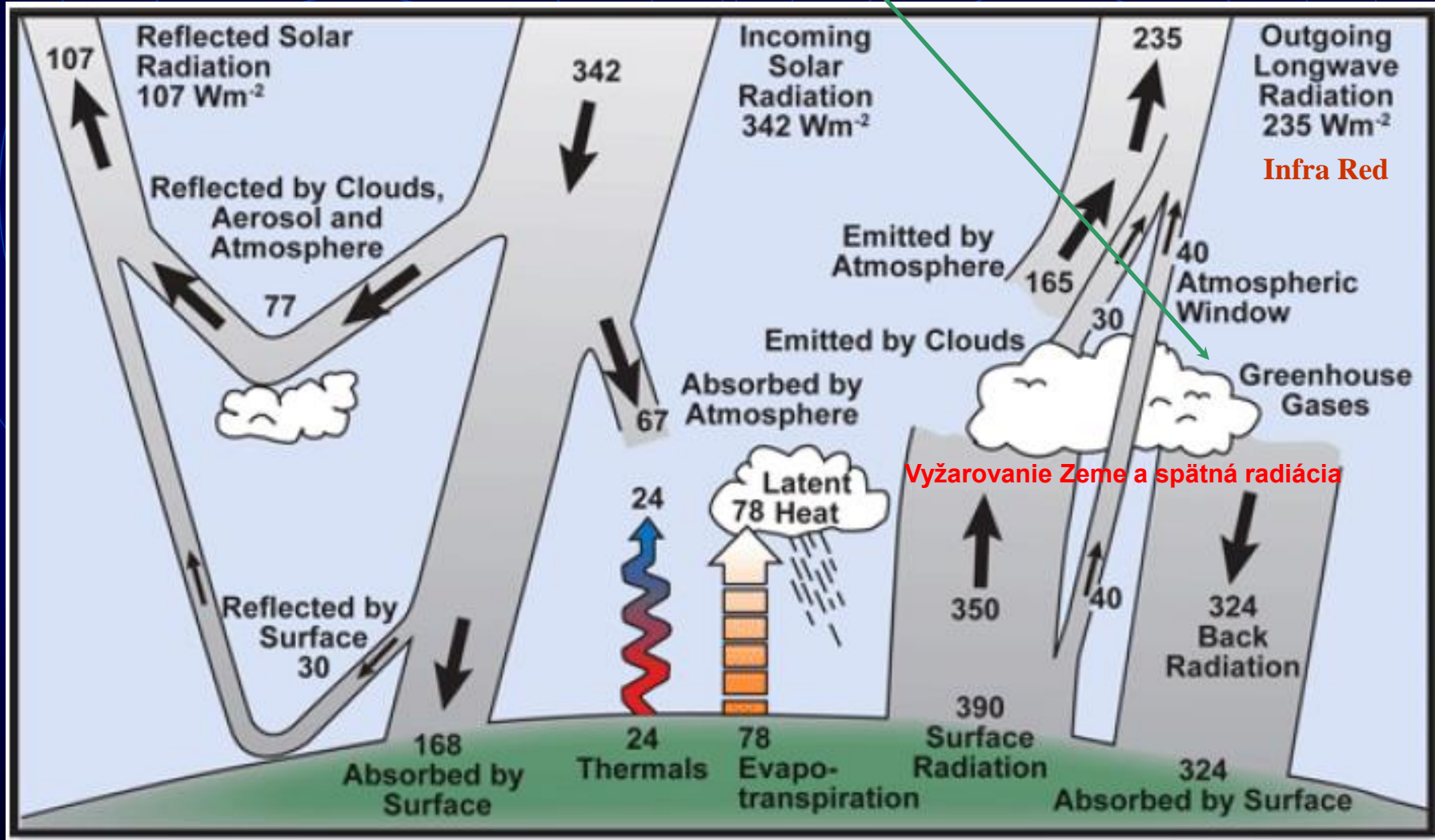
Ročné hodnoty energetickej bilancie Zeme a atmosféry

Albedo

SLNEČNÁ
RADIÁCIA

Skleníkové plyny v atmosfére,
Atmosférické okno H₂O pre $\lambda = 8.5-12.5 \mu\text{m}$

A
T
M
O
S
F
É
R
A



Vyžarovanie Zeme a spätná radiácia

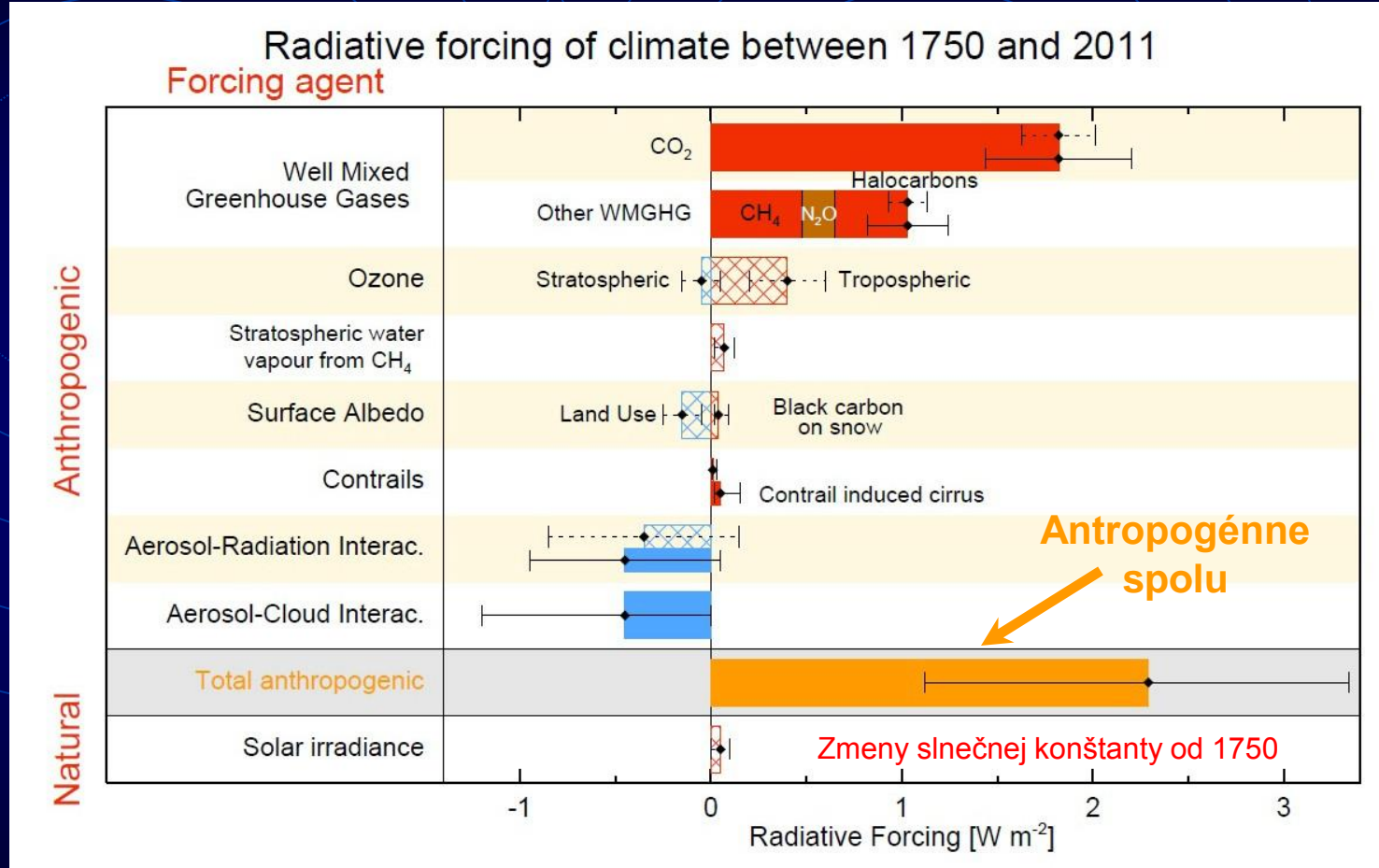
ZEMSKÝ POVRCH

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



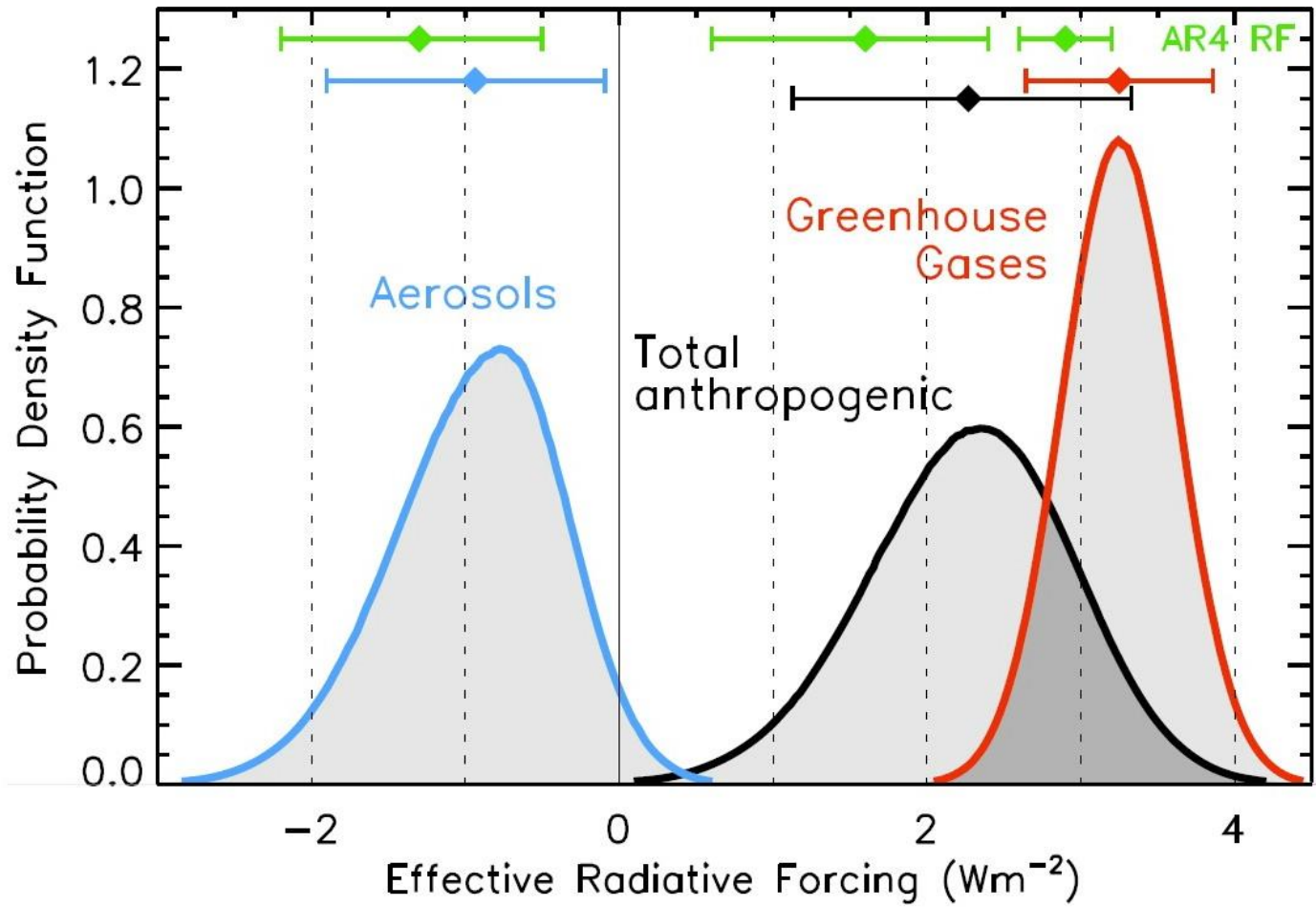
ODHAD VŠETKÝCH ANTROPOGÉNNÝCH VPLYVOV NA GLOBÁLNU KLÍMU OD ROKU 1750 (IPCC 2013)

Skleníkové plyny majú kladný vplyv na globálne otepľovanie

Aerosóly a zmeny využívania krajiny majú ochladzujúci účinok na globálnu klímu

Odhad celkového antropogénneho vplyvu, vrátane rozptylu neistoty

Porovnanie AR4 a AR5 odhadov



SCENÁRE ZMENY KLÍMY

- Výstupy klimatických modelov majú scenáre podľa emisných scenárov (používame SRES A2, B1, A1B), teraz je emisia fosílného uhlíka asi 10 mlrd. t ročne
- Ten prvý reprezentuje pesimistický predpoklad správania ľudstva na Zemi do r. 2100 a ten druhý optimistický, tretí je stredný
- Emisia **fosílného uhlíka 28,9 Gt** (mlrd. t) v r. 2100 sa predpokladá podľa SRES A2 (kumulatívne 1773 Gt) a **5.2 Gt** podľa SRES B1 (kumulatívne 989 Gt).
- Tento rozdiel sa prejavuje v scenároch najvýraznejšie až po roku 2040 (predovšetkým pri teplote vzduchu). **Stredný scenár je nielen A1B ale aj niekoľko ďalších**

Scenáre

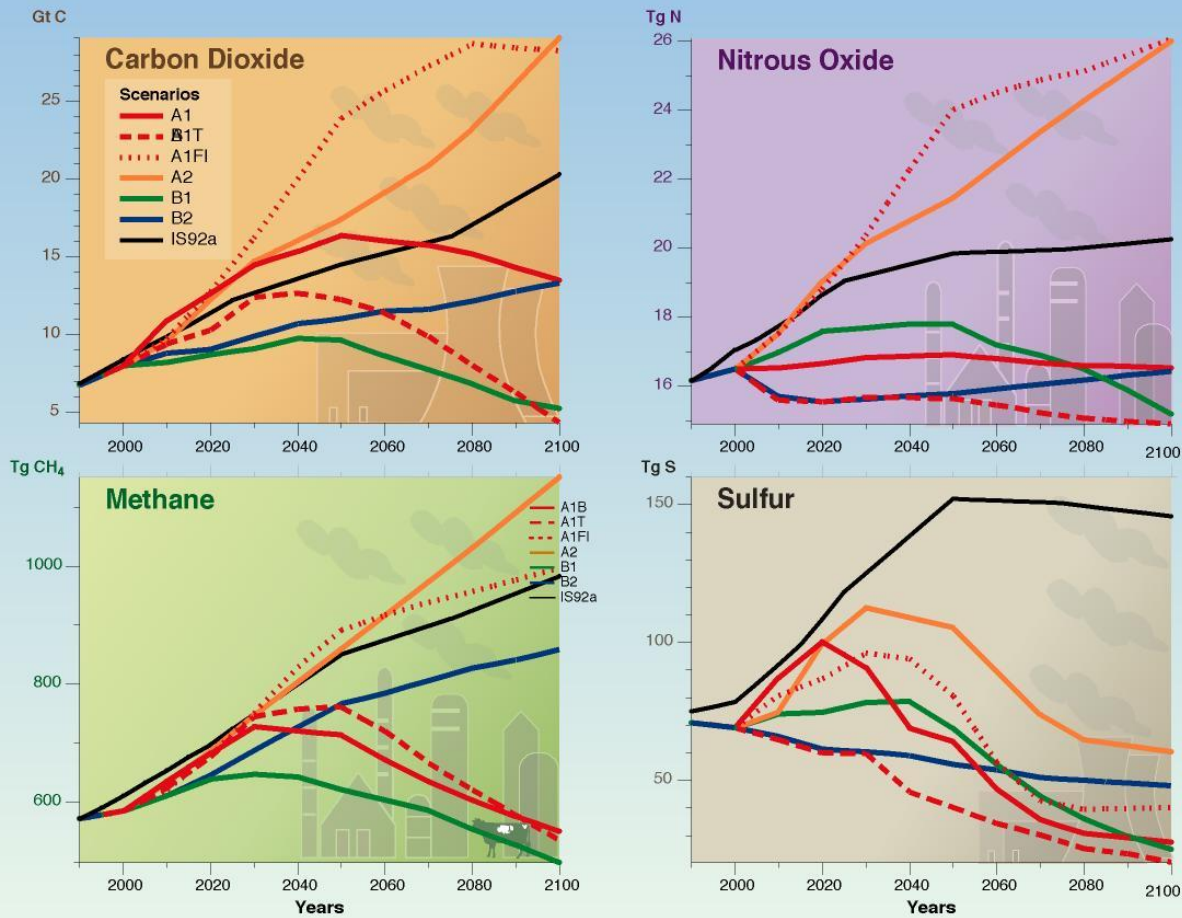
pre obdobie

1990-2100

Rozdiely súvisia s neistotami správania ľuďí na Zemi

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

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



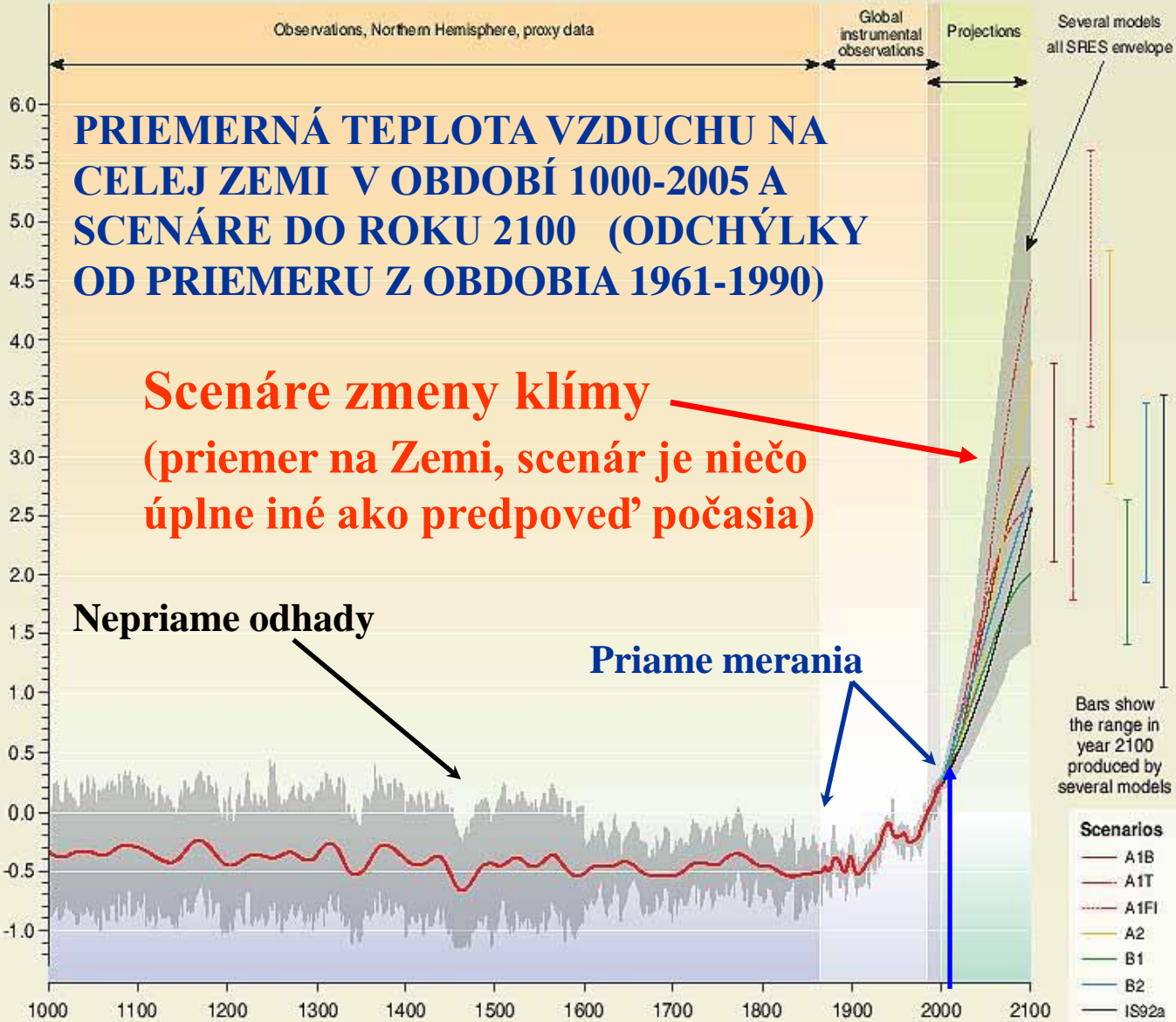
WG1 TS FIGURE 17

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

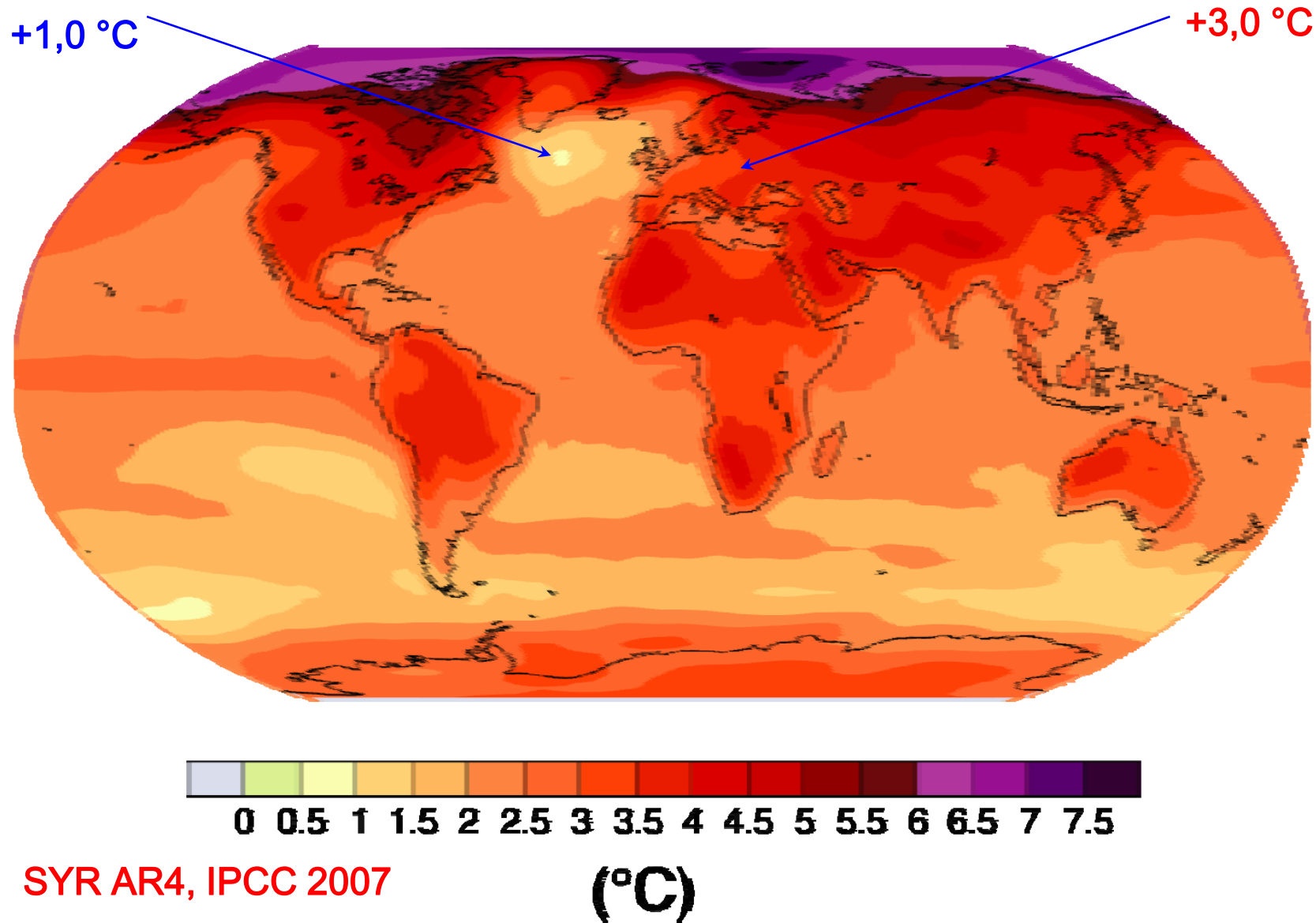
Variations of the Earth's surface temperature: years 1000 to 2100

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.

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



Geographical pattern of surface warming



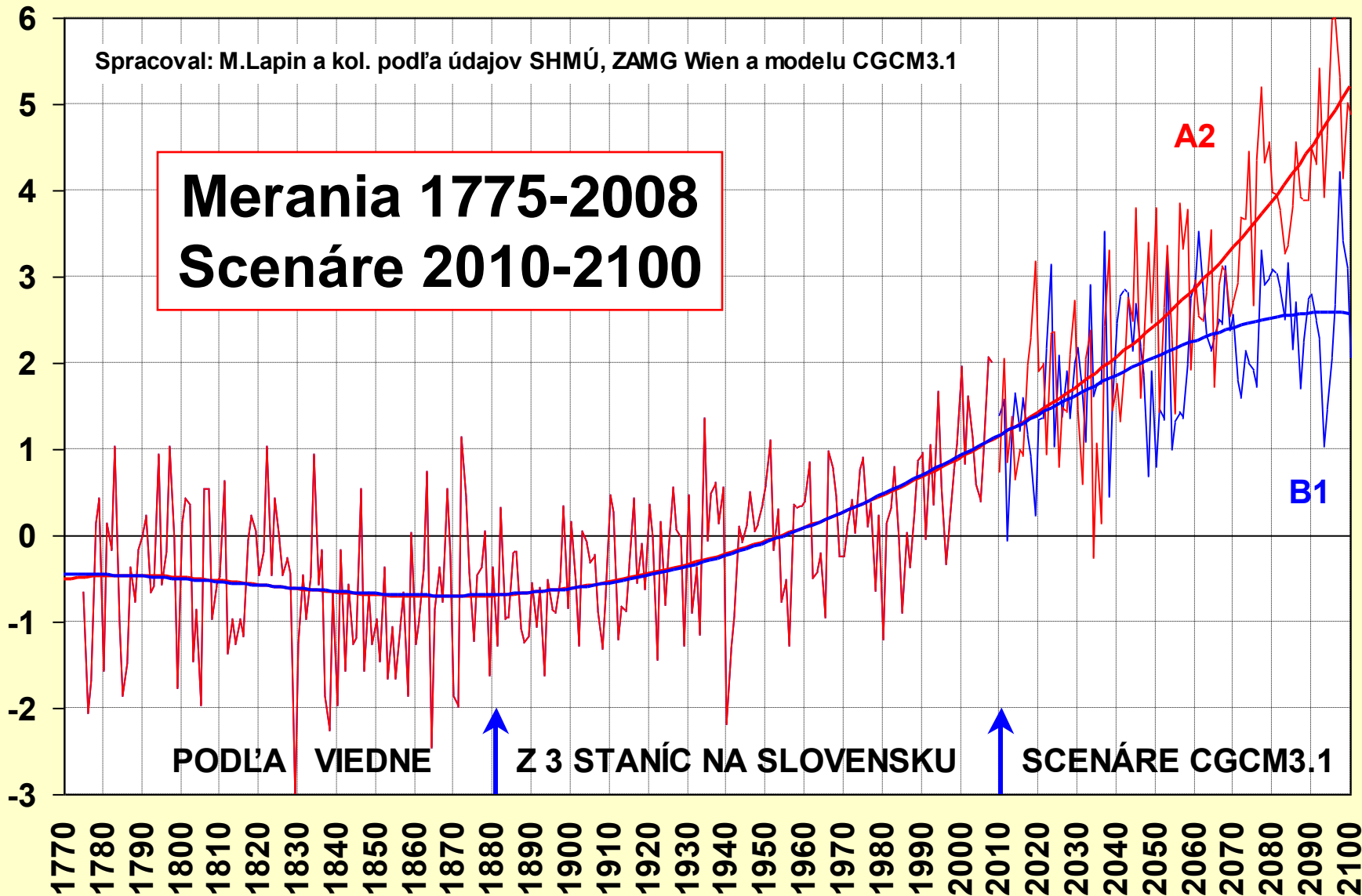
ZMENY TEPLoty VZDUCHU NA SLOVENSKU

dTN[°C]

Priemerná odchýlka od normálu 1951-1980 z 3 staníc na Slovensku

Spracoval: M.Lapin a kol. podľa údajov SHMÚ, ZAMG Wien a modelu CGCM3.1

Merania 1775-2008
Scenáre 2010-2100



OČAKÁVAME ZMENU KLÍMY, AKÉ MÔŽU BYŤ DÔSLEDKY ?

- Je isté, že bude naďalej pokračovať emisia skleníkových plynov a tým aj otepľovanie dolnej vrstvy atmosféry (najmenej do 5 km):
 - 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 (do výšky 5 km)
 - To sa prejaví tak na zmene charakteru tropických a mimotropických cyklón ako aj veľkosti búrkových oblakov
-

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 záchytu 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 redukciami emisií 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 v dlhšom horizonte viacerých rokov ?
- **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 redukciiu emisie GHGs !
- Zlepšenie disciplíny a organizácie práce tiež ušetrí veľa energie !
- Každá krajina má individuálne špecifiká úspor energie, surovín a redukciiu emisie GHGs (jadrová energetika, hydroenergetika, využitie odpadovej biomasy, geotermálne teplo) !

ZÁVERY

- Klimatická zmena môže závažným spôsobom ovplyvniť socio-ekonomické sektory a prírodné prostredie na Slovensku už v najbližšom období (**ide o najrýchlejšiu zmenu od začiatku meraní**)
- Súčasné klimatické zmeny potvrdzujú platnosť scenárov pripravených v období 1991-1997 na Slovensku v rôznych projektoch – obdobie 1990-2014 asi o 1,2 °C teplejšie ako normál z obdobia 1901-1990 (v TP (IV-IX) až o 1,3 °C), trend až 2 °C
- **Sektory poľnohospodárstva, ekosystémov, lesného a vodného hospodárstva sme na Slovensku analyzovali detailnejšie, sú aj najviac zraniteľné (kontaktovali sa aj iné – energetika, zdravie...), adaptačné a mitigačné opatrenia sú v 6-tich NSKZ od 1995**
- **Ďalší pokrok v danej problematike závisí od podpory výskumu v klimatológii a v iných dotknutých sektoroch, tiež od ekonomického zhodnotenia nákladov a ziskov a od strategického rozhodovania (cost/benefit assessment) na dlhšie obdobie ako 20 rokov**
- Ide o veľkú zodpovednosť, žiaľ, väčšina politikov má záujem iba o populistické vyhlásenia smerujúce k svojim voličom, ktorí sú zväčša s nižším vzdelaním a aj s nižším ekologickým povedomím

ĎAKUJEM ZA POZORNOSŤ

Ďalšie informácie

a kompletnú Národnú správu SR o KZ nájdete na:

www.dmc.fmph.uniba.sk

Pozrite si aj: www.milanlapin.estranky.sk

Teóriu KZ nájdete aj na: www.ipcc.ch

E-mail: lapin@fmph.uniba.sk