

Klíma polárnych oblastí a väzby na globálny klimatický systém Zeme

V klimatickom systéme Zeme (KSZ) existuje veľa vzájomných väzieb medzi jeho subsystémami, ktorých výsledkom je nielen viac-menej stabilný dlhodobý režim klímy, ale aj charakteristická premenlivosť aktuálneho počasia. Medzi subsystémami KSZ (atmosféra, hydrosféra, kryosféra, litosféra, biosféra a noosféra) zaujímajú polárne oblasti mimoriadne dôležité miesto. Ide tu predovšetkým o kryosféru skladajúcu sa z pevninského ľadnadenia, plávajúceho morského ľadu, šelfového ľadu, horských ľadovcov, trvalej, periodickej a epizodickej snehovej pokrývky, periodickeho, epizodického a dlhodobého zámruzu pôdy, ale aj tzv. permafrostu (de facto reliktu trvalého zámruzu pôdy z Pleistocénu) dosahujúceho hrúbku aj viac ako 300 m (Tajmír). V polárnych oblastiach (v tomto prípade v priestore za polárnym kruhom) je asi 8 % povrchu Zeme, podobný charakter klímy majú ale aj iné časti Zeme. Časť tejto oblasti pokrýva aj otvorený oceán s dôležitou zložkou morskej cirkulácie, existuje tam aj pevnina bez ľadu a snehu, vyskytuje sa tam aj biosféra a pochopiteľne aj atmosféra s odlišným zložením ako inde na Zemi. V poslednom období sa priestor za polárnymi kruhmi stal aj objektom záujmu človeka, ktorého aktivity sa môžu v spätných väzbách prejavíť nepriaznivo predovšetkým na tamojšie ekosystémy, ale aj na celý KSZ.

KSZ existoval v minulosti aj takmer bez akéhokoľvek ľadnadenia (druhotory – pred vyše 65 mil. rokov) a vtedy mal režim klímy na Zemi podstatne odlišný charakter ako ho poznáme v širšej súčasnosti (Holocén). Odlišná cirkulácia v oceánoch zabezpečila v druhohorách rýchly presun teplej morskej vody od rovníka k pólom, kde panovala z dnešného pohľadu subtropická klíma (s teplotou mora až 25 °C), iba vo vnútrozemí Antarktídy a Grónska bola v zime klíma podobná terajšej v severnej Európe. Mohutné ložiská uhlia a ropy sú tiež dôsledkom bujnej biosféry v tomto období. Oceány boli prehriate až po dno, v súčasnosti je na dne hlbokých oceánov voda chladnejšia ako 4 °C. Pred asi 26 mil. rokov sa sformoval dnešný ľadovcový štít Antarktídy a pred 3 miliónmi rokov sa začalo formovať polárne pevninské ľadnadenie aj v Arktíde.

INT : Tue,05SEP2006 00Z Valid: Tue,05SEP2006 00Z
Eisbedeckung (rot) und Schneehöhe in cm



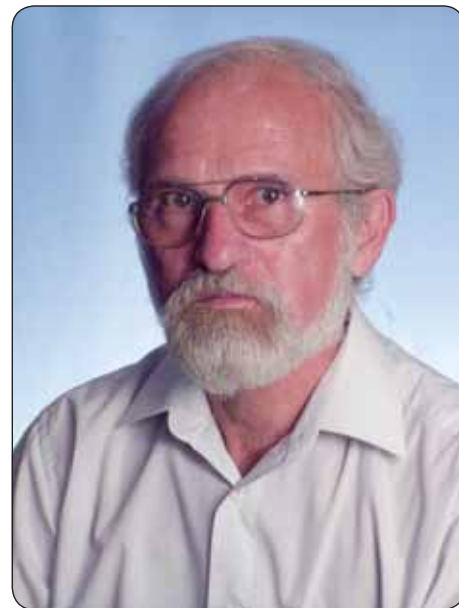
Obr. 1. Rozsah plávajúceho morského ľadu v Arktíde na konci leta 2006 podľa satelitných meraní. Je vidieť neobvyklú deštrukciu plávajúceho ľadu severne od Aljašky a severne od Špicbergov (najmä v porovnaní so stavom pred rokom 1980)

Počas posledných 2 miliónov rokov existovalo známe striedanie ľadových a medziľadových dôb s periódou asi 100 tis. rokov. Teraz žijeme už 12 tis. rokov v medziľadovej dobe (Holocén) a je isté, že ďalšia ľadová doba bude nasledovať až o niekoľko tisíc rokov.

Z minulého vývoja klímy polárnych oblastí máme pomerne bohaté informácie iba z posledných 65 mil. rokov, keď bolo už v podstate dnešné rozloženie kontinentov a oceánov, ale aj biologických druhov na celej Zemi. Na základe sondáže ľadovcov v Grónsku a v Antarktíde existujú aj z časového hľadiska veľmi podrobné informácie o vývoji teploty vzduchu, zloženia atmosféry, úhrnov zrážok a biologických druhov prinajmenšom z posledných 400 tis. rokov.

Z rozsiahlych analýz vyplývajú najmenej dve skutočnosti: 1) *Klimatické pomery boli v Antarktíde vždy dosť stabilné, na druhej strane klíma Arktídy sa vyznačovala pomerne náhlymi regionálnymi zmenami; 2) Takmer všetky celkové zmeny klímy v Arktíde boli napriek tomu relatívne pomalé, nástup ľadových dôb do polovice konečného objemu ľadu trval aj viac ako 20 tis. rokov.* Náhle celkové zmeny klímy sa vyskytovali najmä na konci ľadových dôb, vtedy sa nahromadilo v jazerách veľa sladkej vody z roztopených ľadovcov. Keď sa veľký objem sladkej vody vylial do severného Atlantiku, došlo k rýchlej zmene energetickej bilancie oceánu, čo zrejme vyvolávalo náhly pokles teploty v celom regióne (aj viac ako o 5 °C za storočie). Aj v prípade malých celkových zmien sa mohli vyskytnúť veľké regionálne zmeny, najmä vplyvom dočasných zmien morského prúdenia. Tak sa napríklad otepilo v zime v priestore Špicbergov až o 9 °C od polovice 19. st. do roku 1940, na iných miestach sa ale aj trochu ochladilo.

Významný rozdiel medzi Arktídou a Antarktídou je aj v podmienkach akumulácie a deštrukcie polárnej kryosféry. Kým Antarktída predstavuje kompaktný kontinent s veľkou nadmorskou výškou, Arktídu tvorí prevažne oceán a nízka pevnina. Iba Grónsko pripomína svojimi podmienkami Antarktídu. To je aj hlavný dôvod skutočnosti, že v Antarktíde je teraz asi 10x toľko ľadu ako v Arktíde (skoro celý objem je tam ale v Grónsku). Veľký význam má plávajúci morský ľad, ktorý predstavuje v Arktíde plošne dominantnú zložku kryosféry. Arktický vzduch sa nemôže v zime tvoriť nad otvoreným morom alebo oceánom, plávajúci ľad sa radiačne správa ako pevnina a nad ním sa začne tvoriť arktický vzduch už v priebehu októbra. Pevninský ľadovec predstavuje v Antarktíde asi 25 mil. km³ ľadu, v Grónsku a v Arktíde spolu iba 2,6 mil. km³ ľadu, plávajúci (alebo šelfový) morský ľad má v Antarktíde 3 – 18 mil. km², plávajúci morský ľad v Arktíde má 7 – 15 mil. km², podľa iných zdrojov je ročný priemer 12,6 mil. km² (interval je medzi letom a zimou). Horské ľadovce v miernom, subtropickom a tropickom pásme predstavujú iba nepatrný zlomok z tohto objemu. Spolu je na Zemi asi 11 % povrchu pevniny a 7 % povrchu morí pokrytý ľadom. Snehová pokrývka má maximum 59 mil. km² na severnej a 32 mil. km² na južnej pologuli, vrátane ľadovcov a plávajúceho ľadu. Permafrost (ľad trvalo zmrazený v litosfére) predstavuje vyše 10 mil. km² a stále sa



Milan Lapin, meteorológ a klimatológ

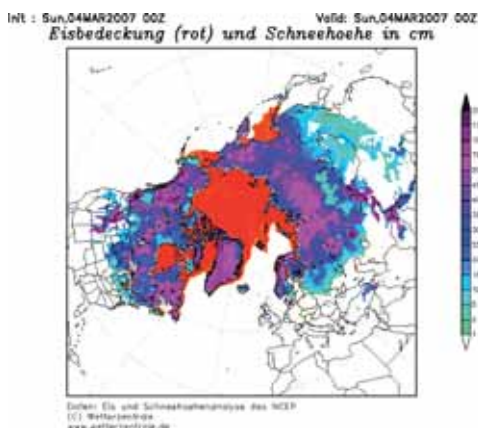
Narodil sa roku 1948 v Širkovciach na strednom Slovensku. Štúdium fyziky ukončil na Prírodovedeckej fakulte UK v Bratislave (špecializácia meteorológia a klimatológia). V rokoch 1971 - 1996 pracoval v rôznych funkciách v Slovenskom hydrometeorologickom ústave. V súčasnosti je vedeckým pracovníkom a vysokoškolským pedagógom na Fakulte matematiky, fyziky a informatiky UK v Bratislave (v oddelení meteorológie a klimatológie) vo funkcii profesor. Vo výskume sa v posledných 18 rokoch venuje hlavne problematike zmien a variability klímy, scenárom klimatickej zmeny a jej možným dôsledkom na Slovensku do roku 2100. Na Slovensku je v tejto oblasti „priekopníkom“, rovnako v zahraničí je uznávaným odborníkom. Koordinoval viacero výskumných a vedeckých projektov (napr. U.S. Country Studies, Slovakia, Element 2, Národný klimatický program a niekoľko projektov VEGA). Zúčastnil sa tiež na posudzovaní 3. aj 4. správy Medzivládneho panelu pre klimatickú zmenu pri OSN (IPCC) a je jedným z hlavných prispievateľov do Národných správ SR o klimatickej zmene SR. Významne prispieva k popularizácii meteorológie a klimatológie na Slovensku a v zahraničí.

zmenšuje. Periodické ľadové úkazy (zmrznutá pôda, ľad na vodných plochách) nie sú z globálneho pohľadu rozsiahle, no majú veľký regionálny význam.

Najviac sa v ostatnom období diskutuje o možnom ľudskom ovplyvnení polárnych oblastí. V minulosti to bolo predovšetkým znečistenie ľadovcov, snehovej pokrývky a morí. To mohlo skutočne významne ovplyvniť tamojšie podmienky, pretože napríklad iba albedo (odraz slnečného žiarenia) vo vnútrozemí Antarktídy dosahuje aj vyše 90 %. Znečistené ľadovce v Alpách majú v lete albedo aj menšie ako 50 %. V lete tak znečistené polárne oblasti absorbujú viac slnečného žiarenia, čím sa aj viac ohrejú. Skutočne veľká hrozba pre polárne oblasti prichádza tak trochu nečakane od chemického zloženia atmosféry. V atmosfére existuje popri dobre premiešaných plynch (kyslík, dusík, CO₂,

metán...) aj vodná para, ktorej je v oblastiach za polárnym kruhom v rovnakom objeme vzduchu asi 10x menej ako v tropických oblastiach medzi obrátnikmi (extrémne až 100x menej). To vyplýva predovšetkým zo skutočnosti, že množstvo vodnej pary je v atmosfére zhora limitované teplotou vzduchu. Keďže sa vodná para podieľa až 65 % na skleníkovom efekte atmosféry celej Zeme v priemere a CO_2 asi 25 %, je zrejme, že v polárnych oblastiach je dominantným skleníkovým plynom CO_2 , vodná para má iba podružný význam a veľký význam má aj metán. Rast koncentrácie CO_2 o 35 % a metánu o 170 % od roku 1750 spôsobil, že sa polárne oblasti nemôžu v zime tak výrazne ochladiť ako v minulosti a v lete sa viac prehrievajú. Preto je najväčší nárast teploty vzduchu práve na kontinentoch v blízkosti polárnych kruhov. Oceánov sa to tak významne nedotýka, leboorské prúdenie pomerne rýchlo vyrovnáva rozdiely. Napriek tomu došlo aj k otepleniu takmer všetkých polárnych morí, najviac pri Špicbergoch v zime. Vplyvom zmien morskej cirkulácie sa ale niektoré moria dokonca ochladili, napríklad juhozápadne od Grónska a asi na 3 miestach pri Antarktíde. Najvýznamnejším celkovým dôsledkom je ale zmenšovanie plochy plávajúceho morského ľadu (koncom leta v Arktíde až o vyše 25 % od roku 1980; merania sa robia každý deň pomocou satelitov). To je ďalšou príčinou menšieho objemu tvoriaceho sa arktického vzduchu v Arktíde.

Podstatne odlišným problémom je akumulácia (vytváranie) a deštrukcia (topenie) polárnych pevninských ľadovcov. Akumulácia prebieha iba zo snehovej pokrývky (s malým príspevím dažďa), čiže na miestach, kde padá menej ako 100 mm snehových zrážok (väčšina polárnych oblastí) je vytváranie ľadovcov veľmi pomalé. Priemerná teplota vzduchu nad polárnymi pevninskými ľadovcami je väčšinou hlboko pod bodom mrazu (v Antarktíde až okolo -40°C), teda aj po oteplení o 10°C bude tam stále padať iba sneh. Pri vyššej teplote bude ale padať snehu viac, lebo je v atmosfére viac vodnej pary. Deštrukcia prebieha jednak výparom, ktorý je tam nepatrný, ale najmä pomalým stekaním ľadovcov po svahoch do okolitých morí.



Obr. 2. Rozsah plávajúceho morského ľadu v Arktíde na konci zimy 2006/07 podľa satelitných meraní. Je vidieť zväčšenú plochu chýbajúceho plávajúceho morského ľadu severne od Škandinávie a málo snehovej pokrývky v Európe a Ázii (najmä v porovnaní so stavom pred rokom 1980)

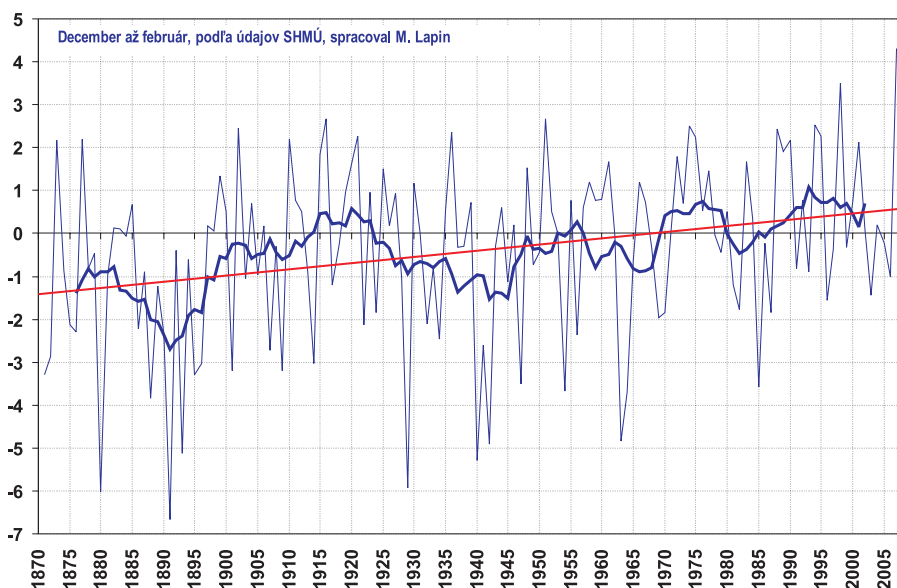
Všetko nasvedčuje tomu, že akumulácia a deštrukcia pevninských ľadovcov bude v polárnych oblastiach narastať, čím sa zvýši prísun sladkej vody a salinita okolitých morí bude klesať. Dôsledky budú značné, pretože sa tým zmenia podmienky termohalinnej cirkulácie (vzťah teploty, hustoty a salinity morskej vody), uľahčí sa zamŕzanie morí a zmenia sa podmienky pre tamojšie ekosystémy.

Ako je vidieť aj z tohto krátkeho prehľadu, polárne oblasti hrajú v KSZ mimoriadne dôležitú úlohu. Najmä Antarktída vyrovnáva krátkodobé zmeny v pôsobení klimatotvorných faktorov (11-ročný cyklus slnecnej aktivity, El Niño, QBO a i.) a v Arktíde sa nachádza aj kľúčový uzol globálnej termohalinnej cirkulácie oceánov (na severe Nórskeho mora). Človek dokáže svojimi aktivitami nepriaznivo zasiahnuť do tohto citlivého systému a pre nepredvídateľné spätné väzby v KSZ sa môžu v budúcnosti objaviť nečakané zmeny klímy a premenlivosti počasia kdekoľvek na Zemi. Viac informácií je na našej stránke: www.dmc.fmph.uniba.sk, prípadne aj na www.ipcc.ch v III. a IV. správe IPCC.

prof. RNDr. Milan Lapin, CSc.

UK, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Bratislava

$T[^\circ\text{C}]$ Priemery teploty vzduchu v Hurbanove, 11-ročné kľzavé priemery a lineárny trend, 1870/71-2006/07



Obr. 3. Časový priebeh priemernej teploty vzduchu za zimy 1870/71 až 2006/07 v Hurbanove, vrátane lineárneho trendu a 11-ročných kľzavých priemerov (na konci je údaj z mimoriadne teplej zimy 2006/07), zima 2006/07 bola u nás čiastočne ovplyvnená vysokou priemernou teplotou vzduchu na severnej pologuli (o $0,7^\circ\text{C}$ nad normálom) a menším rozsahom plávajúceho morského ľadu v Arktíde

Doprava znovu na posledných priečkach kjótskej klasifikácie

Správa EEA „Doprava a životné prostredie: na ceste k novej spoločnej dopravnej politike“ uvádza, že európska dopravná politika sa musí zaoberať rastúcim dopytom po doprave. V rokoch 1990 až 2003 vzrástol objem osobnej dopravy v krajinách EEA o 20 %. Najviac v tomto období vzrástla letecká doprava, o 96 %. Kým emisie vo väčšine ostatných sektorov (energetika, priemysel, poľnohospodárstvo, odpadové hospodárstvo) v rokoch 1990 až 2004 klesli, emisie v doprave sa podstatne zvýšili práve na základe zvýšeného dopytu. Doprava zodpovedá za 21 % celkových emisií skleníkových plynov v štátoch EÚ 15 (okrem medzinárodnej leteckej a námornej dopravy).

Cestná doprava predstavuje 93 % všetkých emisií v doprave. Najrýchlejšie však rastú emisie v medzinárodnej leteckej doprave, s nárastom o 86 % v rokoch 1990 až 2004. Emisie skleníkových plynov (okrem námornej a leteckej dopravy) v doprave v rokoch 1990 až 2004 najviac vzrástli v Luxembursku a Írsku s príslušným zvýšením o 156 a 140 %. V 32 členských krajinách EEA stúpli v priemere o 25 %.

„Dá sa povedať, že strednodobé prehodnotenie bielej knihy o doprave z roku 2001 svojím návrhom zaoberať sa iba dopadom dopravy na životné prostredie zľahčuje prístup Európy k potrebe riešiť objem dopravy. A tak to byť nemôže,“ uviedla profesorka Jacqueline McGladeová, výkonná riaditeľka EEA. „Nemôžeme sa zaoberať nárastom emisií skleníkových plynov, vysokou hladinou hluku a fragmentáciou krajiny, ktoré spôsobuje doprava, bez riešenia nárastu dopravy vo všetkých oblastiach: na cestách a železničiach, vo vzduchu a na mori. Technické zlepšenia, akými sú napríklad čistejšie, úspornejšie motory, sú veľmi dôležité, problém s emisiami v doprave sa však len cestou inovácií vyriešiť nedá,“ uviedla.

Správa tiež zdôrazňuje významnú úlohu, ktorú pri stanovení možnosti dopravy zohrávajú dotácie v doprave. V Európe sa na dotácie v doprave ročne vydáva 270 až 290 miliárd eur. Takmer polovica týchto dotácií ide do cestnej dopravy, ktorá patrí z pohľadu životného prostredia k najnepriaznivejším. EEA vydá podrobnú správu o dotáciách v doprave v marci 2007. Znečistenie v doprave má tiež priamy dopad na naše zdravie. Takmer 25 % obyvateľov štátov EÚ 25 žije vo vzdialenosti menej než 500 metrov od cesty, ktorou prejde viac než tri milióny vozidiel ročne. V dôsledku vysokej miery znečistenia sa preto každý rok strácajú takmer štyri milióny rokov života, uvádza sa v správe.

(Zdroj: EEA Kodaň)