

Rizika klimatické změny

Fyzikální a biologické systémy všech kontinentů a většiny světových oceánů jsou v posledních desetiletích stále více ovlivňovány probíhajícími klimatickými změnami a regionálními vzestupy teploty. Antropogenní příčiny oteplování planety nabývají stále většího významu a můžeme je dnes již považovat za zcela zřejmé a prokazatelné. Atmosférické koncentrace oxidu uhličitého a metanu dosahují nejvyšších hodnot za posledních 650 tisíc let a jejich nárůst od poloviny 18. století lze připsat zejména emisím vznikajícím při spalování fosilních paliv, zemědělské činnosti a změnám ve využívání krajiny. Důsledky působení klimatických změn se neprojevují rovnoměrně a na všech místech planety stejně a ovlivňují je i přirozená či umělá adaptační opatření v krajině.

Klima a klimatický systém

Zjednodušeně lze klima definovat jako průměrný stav atmosféry v daném místě a čase, který lze popsat celou řadou meteorologických proměnných. Kromě teplotního a srážkového režimu jde o vítr, oblačnost, sluneční svit, tlak vzduchu, dohlednost, vlhkost a další charakteristiky. Klimatický systém se skládá z pěti základních složek geofyzikálního systému (atmosféra, oceán, zemský povrch, kryosféra a biosféra), které se vzájemně ovlivňují a jsou pro vlastní klima určující. Celý systém je energeticky ovlivňován dopadajícím a odráženým slunečním zářením. Přibližně dvě třetiny energie krátkovlnného záření jsou po svém vstupu do atmosféry zemským povrchem a atmosférou pohlcovány, jedna třetina je odrážena zpět do kosmického prostoru. Aby nedošlo k porušení energetické rovnováhy systému, musí být celkové množství energie přicházejícího krátkovlnného záření vykompenzováno energií vyzářenou dlouhovlnným zářením zpět z planety do vnějšího prostoru. Stav rovnováhy by odpovídala teplota zemského povrchu přibližně o 33 °C nižší, než ve skutečnosti je. Rozdíl mezi hypotetickou a skutečnou teplotou lze připsat vlivu skleníkového efektu atmosféry a je zároveň důkazem o tom, že atmosféra přirozeně množství skleníkových plynů, včetně vodní páry, skutečně obsahuje.

Výsledné klima planety je určováno přerozdělováním tepelné energie v atmosféře a oceánech. To se mění v závislosti na zeměpisné šířce a roční, resp. denní době, neboť v daném okamžiku nejsou všechny části planety ohřívány rovnoměrně. Základní řídicí silou proudění v atmosféře a oceánech jsou teplotní rozdíly mezi různými částmi povrchu planety a rozdílná spotřeba energie na výpar. Ten ovlivňuje nerovnoměrnost rozložení oblačnosti a následně i přítok sluneční energie – energetický cyklus se tak uzavírá. Všechny složky systému jsou vzájemně propojeny i zpětnými vazbami. Změna kterékoliv z nich přispívá k narušení původní rovnováhy systému a ten se následně pokouší nalézt rovnováhu novou, přičemž některé reakce při jejím hledání probíhají velmi pomalu, některé naopak velice rychle. Z uvedeného zjednodušeného schématu vyplývá, že základní příčinou klimatických změn jsou právě změny energetické bilance systému.

Narůstající vliv skleníkového efektu atmosféry

Jak již bylo řečeno, přirozenému skleníkovému efektu vděčíme za současnou průměrnou teplotu planety kolem 15 °C. Analýzy vzorků ledu a jeho složení ukázaly, že změny koncentrací dvou nejvýznamnějších skleníkových plynů – oxidu uhličitého a metanu – a změny průměrné teploty spolu úzce souvisejí. Před stovkami tisíců let se koncentrace CO₂ pohybovaly v intervalu 180 až 280 ppmv a podle paleoklimatologických analýz tyto hodnoty nebyly v kvartéru asi nikdy překročeny. V posledních několika desetiletích však velmi výrazně narůstají a dnes dosahují úrovně 380 ppmv. K podobným změnám došlo i u koncentrací CH₄ a oxidu dusného N₂O. Jako zcela nové se v poslední době uplatňují i částečně a zcela halogenované fluorovodíky a fluorid sírový a všechny dohromady přispívají k rychlému zesilování skleníkového efektu. Problémem je, že skleníkové plyny působí v atmosféře desítky, stovky a v některých případech až tisíce let a že jejich radiační účinnost je značně rozdílná. Například radiační účinnost stejného hmotnostního objemu metanu je 21krát vyšší než CO₂, účinnost oxidu dusného je 310krát vyšší než CO₂ apod. Dramatický nárůst emisí CO₂, CH₄ a N₂O způsobil, že pouze za posledních deset let se jejich celková radiační účinnost zvýšila o 20 % a dosahuje již hodnot kolem 2,3 W · m⁻² (pro porovnání: průměr-

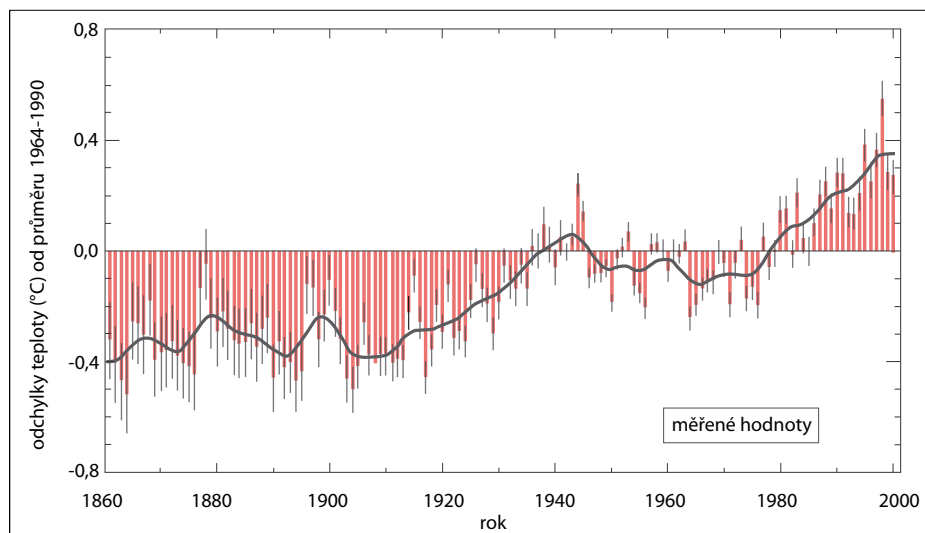
né množství zářivé energie přijaté zemskou atmosférou od Slunce je 1369 W · m⁻²). Ke skleníkovému efektu přispívá i troposférický ozon (současná radiační účinnost 0,35 W · m⁻²), jeho efekt naopak snižují přímým působením emise pevných aerosolových částic (-0,5 W · m⁻²) a nepřímým působením nárůst oblačnosti (-0,7 W · m⁻²). Mezi látky ovlivňující skleníkový efekt je třeba zahrnout i vodní páru, která je důležitým faktorem ovlivňujícím řadu zpětných klimatických vazeb, včetně oblačnosti.

Produkce skleníkových plynů souvisí převážně s lidskou činností, neboť CO₂ je významným produktem spalování fosilních paliv, emise CH₄ ovlivňuje těžba a zpracování ropy a zemního plynu, zemědělská výroba a odpadové hospodářství, N₂O uniká při řadě zemědělských procesů a emise halogenovaných fluorovodíků souvisí s rozvojem chladírenské a klimatizační techniky. Přeměna lesů na zemědělskou půdu a zastavěná území mění celkovou energetickou bilanci systému, a zejména snižuje přirozené pohlcování CO₂ vegetací – i toto je důsledek činnosti člověka.

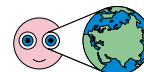
Pozorované změny klimatu

Paleoklimatické rozborů historického klimatu ukazují, že zejména z důvodů změn energetické bilance systému se klima měnilo i v minulosti a jeho změny se projevovaly jak globálně, tak i regionálně. Teplota kolísala v průběhu času s periodou kolem 120 až 140 tisíc let s nejnižšími teplotami

Obr. 1: Průměrná roční teplota na severní polokouli po roce 1860



Zdroj: IPCC, WGI, 2001



v dobách ledových a nejvyššími v dobách meziledových. Téměř vždy se planeta oteplovala výrazně rychleji, než probíhalo následné ochlazování. Většina hypotéz se shoduje na tom, že prvotní příčinou kolísání klimatu byly terestrické a extraterestrické vlivy, neboť právě ty mohly energetickou bilanci systému v minulosti nejvýznamněji ovlivňovat. V posledním tisíciletí probíhaly již pouze drobné výkyvy (např. mírné ochlazení ve 12. až 14. a v 16 až 18. století).

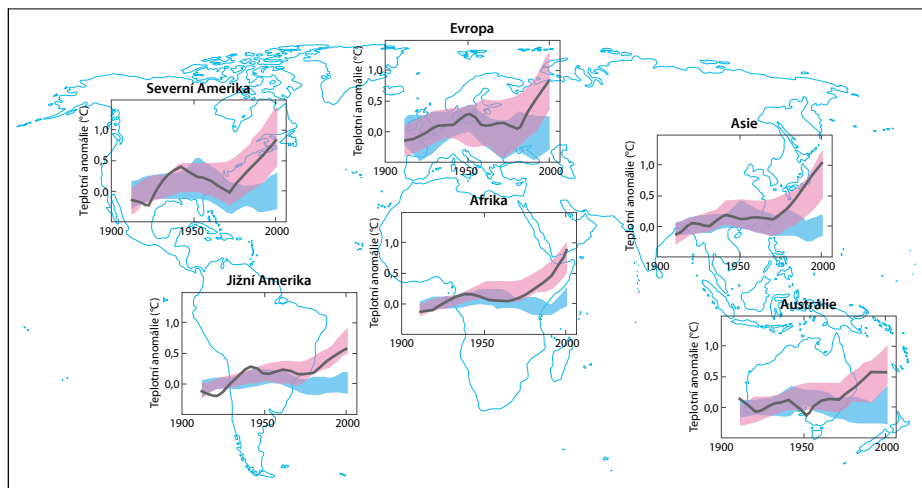
Postupné oteplování se začalo projevovat ve druhé polovině 19. století a s výjimkou krátkých období ochlazení ve čtyřicátých a šedesátých letech probíhalo po celé 20. století a v posledních 10–15 letech se trend oteplování výrazně zvyšuje (viz obr. 1). Jedenáct z posledních dvanácti let (výjimkou je rok 1996) patří mezi 12 nejteplejších roků od doby zahájení pravidelných měření teploty (1850). Za posledních sto let (1906–2005) vzrostla průměrná teplota planety o 0,74 °C a nárůst 0,13 °C/10 let v posledním padesátiletém období je téměř dvojnásobný oproti stavu před sto lety. Podle údajů Světové meteorologické organizace byl zatím nejteplejší rok 1998, následované roky 2005, 2003, 2002, 2004 a 2006. Oteplování se však neprojevuje všude stejně a nejvyšší nárůst teploty je patrný ve vyšších zeměpisných šířkách severní polokoule (viz obr. 2). Například nárůst průměrných teplot v Arktidě za posledních sto let je v porovnání s globálním průměrem přibližně dvojnásobný, přičemž satelitní údaje od roku 1978 ukazují, že zalednění arktických moří klesá v průměru o 2,7 %, letní zalednění dokonce o 7,4 % původní rozlohy ledového pokryvu za deset let. Rovněž se za posledních dvacet let zvýšily teploty horních vrstev permafrostu až o 3 °C.

Značnou část tepla, které skleníkové plyny dodávají klimatickému systému, pohlcují oceány. Vzrůstající teplota vody a její následná teplotní expanze se na zvyšování hladin oceánů podílí v posledních deseti letech (nárůst je 3,1 mm/rok) přibližně jednou polovinou, zatímco v posledních 40 letech při celkovém nárůstu 1,4 mm/rok byl její podíl pouze čtvrtinový. I to je důkazem, že zvyšování hladin oceánů se stále urychluje. Důsledkem jsou ohrožené a zatopené především nízké korálové ostrovy.

Co můžeme očekávat v budoucnu?

Složitost procesů a jejich vzájemná propojenost nedovoluje očekávané budoucí změny laboratorně simulovat. Historické trendy a pozorované změny nelze ani jednoduše předvídat, neboť bychom museli opomenout řadu reálných fyzikálních aspektů. Jedinou možností, jak se „dopátrat“ odhadů vývoje budoucího klimatu, je obecně platné fyzikální zákonitosti matematicky popsat a z numerických řešení získat představu

Obr. 2: Pozorované změny teploty ve 20. století na různých kontinentech



Zdroj: IPCC, WGI, 2007

o tom, jakou odezvu lze od sil působících na systém očekávat. Současná řešení však stále podléhají řadě omezení, která nedovolují šíři procesů dostatečně podrobně popsat, a proto jsou používána různá zjednodušení a předpoklady o odlišnostech významu jednotlivých vlivů. Výstupy z modelů proto nelze považovat za předpovědi, ale pouze za odhady, přesněji projekce dalšího vývoje. Problémem stále zůstává stanovení vzájemných podílů terestrických a extraterestrických vlivů a vlivů antropogenních, neboť obě složky energetickou bilanci systému ovlivňují. Bohužel, otázka kvantifikace obou složek a jejich vzájemného objektivního odlišení je zatím na úrovni spekulací. Existující modely proto vycházejí ze scénářů možných důsledků lidské činnosti na klima a vedou k široké škále alternativních řešení.

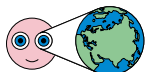
K vytvoření věrohodné projekce budoucího klimatu je třeba znát také co nej přesnější odpověď na otázku, jak se bude naše společnost dále vyvíjet, jak bude vypadat její socio-ekonomická struktura. Východiskem bývá mezinárodně uznávaný soubor emisních scénářů SRES složený z různých variant možného populačního nárůstu, technologického rozvoje, stavů energetických zásob, pravděpodobnosti využívání nových energetických zdrojů apod. Scénáře jsou shrnuty do šesti základních skupin, které ve výhledu na nejbližších 30 let dávají prakticky shodné výsledky a svými výstupy se začínají podstatněji lišit teprve od poloviny 21. století (viz obr. 4).

Spektrum výstupů „očekává“, že na konci 21. století by mohly koncentrace CO₂ dosáhnout hodnot mezi 490 až 1260 ppmv, tj. o jednu čtvrtinu až třikrát vyšších, než jsou v současnosti. Ani jeden ze scénářů nelze upřednostňovat, ale scénáře A1B, příp. B2 lze považovat ze současného pohledu asi za nejpravděpodobnější. Podle nich by mohlo dojít k nárůstu průměrné teploty do konce 21. století o 1,8 až 3,8 °C proti konci

20. století. K zastavení růstu koncentrací emisí v atmosféře nemá bohužel dojít ani do konce tohoto století. Kladou důraz na podporu udržitelného rozvoje, zdůrazňují význam regionálních ekonomik a rozdílnosti v zavádění technologických změn, předpokládají vyvážené využívání všech dosud dostupných energetických zdrojů a počítají s poklesem emisí CO₂ po roce 2050. Konzervativní odhady naznačují, že je již téměř vyloučené, aby globální teplota vzrostla během tohoto století o méně než 1 °C, ale na druhé straně není příliš pravděpodobné, že by byl její nárůst vyšší než 6 °C (viz obr. 3).

Ani nadále se nebude planeta oteplovat homogenně. Teploty porostou rychleji nad pevninami a ve vyšších zeměpisných šířkách, pomaleji nad oceány a v nižších zeměpisných šířkách. Extrémně vysoké teploty se budou vyskytovat výrazně častěji než teploty extrémně nízké; některé části planety se mohou i ochlazovat. S vyšší mírou nejistoty jsou spojeny i odhady podrobnějšího vývoje pravděpodobnosti výskytu extrémních klimatických jevů, přesto však lze v budoucnu zejména ve středních zeměpisných šířkách severní polokoule (tedy i v prostoru střední Evropy) očekávat zvyšování cyklonální aktivity a následně i výraznější kolísání počasí.

S tím souvisí i podrobnější projekce srážkového režimu a následného dopadu na vodní režim. Je obecná tendence nárůstu srážkových úhrnů ve vyšších a naopak poklesu v nižších zeměpisných šířkách při jejich větším rozložení v průběhu roku. Lze očekávat, že se hydrologické cykly budou ještě více prohlubovat než dosud, což povede ke zvyšování rizik povodní a záplav na straně jedné a delších období sucha na straně druhé. Takovou rizikovou oblastí jsou zvláště střední zeměpisné šířky s kontinentální polohou a bude k tomu přispívat i řada umocňujících faktorů, jako například snižování schopnosti krajiny a půdy pohl-



Tabulka: Předpokládané dopady výskytu extrémních povětrnostních a klimatických jevů

Jev a jeho trend	Pravděpodobnost trendu v 21. století	Hlavní dopady na:			
		zemědělství a lesnictví	vodní zdroje	lidské zdraví	průmysl, bydlení
nárůst počtu teplejších dnů (nocí)	téměř jisté	vyšší produkce v chladných, nižší v teplých oblastech	vliv na vodní zdroje závislé na tání sněhu	snížení úmrtnosti vlivem nízkých teplot (podchlazení)	snížení spotřeby energie pro vytápění, zvýšení spotřeby pro klimatizaci, zhoršení kvality ovzduší ve městech, méně častý výskyt sněhové pokrývky a ledu
výskyt období velmi vysokých teplot (vlny veder)	velmi pravděpodobné	teplotní stres, snížení produkce v teplých oblastech, nebezpečí požárů	zvýšení požadavků na vodní zdroje, snížení kvality vody	zvýšené riziko úmrtí v důsledku přehřátí	snížení kvality bydlení, v místech bez klimatizace dopady na seniory a malé děti
nárůst četnosti přívalemých srážek	velmi pravděpodobné	škody na porostech, půdní eroze, omezení kultivace půdy	negativní dopady na kvalitu povrchových i podzemních vod, kontaminace dodávek vody	úmrtí, zranění, infekční choroby, alergie, záněty při záplavách a povodních	poškození obydlí, dopravy, pokles pracovních příležitostí, vyšší nároky na infrastrukturu
rozšiřování oblastí postižených suchem	pravděpodobné	degradace půdy, snížení (zničení) produkce, škody v živočišné výrobě, nebezpečí požárů	zásadní nedostatek vody	vysoká rizika plynoucí z nedostatku vody, požárů, šíření infekčních nákaz	nedostatek vody v sídelních aglomeracích, v průmyslu a pro výrobu vodní energie, rizika migrace
nárůst intenzity výskytu tropických cyklon	pravděpodobné	škody na produkci	výpadky či narušení dodávek vody	vysoké riziko úmrtí, zranění a šíření infekčních nákaz a chorob	škody záplavami, silným větrem, zvýšení pojistného a nepojistitelnost některých rizik
nárůst hladin moří a oceánů	pravděpodobné	důsledky zvýšené slanosti vody	snížení kvality vody, zvýšení její slanosti	zvýšení rizika úmrtí v záplavových oblastech, šíření infekčních nákaz a chorob	zvýšení zájmu o přesídlení do bezpečnějších oblastí

covat vodu a necitlivé umělé zásahy člověka do původních systémů vodních toků. K nárůstu četnosti výskytu přívalemých srážek může docházet i tam, kde průměrné roční srážkové úhrny budou klesat. Stávající modelové simulace jsou postupně potvrzovány výskytem či průběhem extrémních povodní ve střední a jihovýchodní Evropě v letech 1997, 1998, 2002, 2005 a 2006, stejně jako dlouhými obdobími extrémního sucha v jihozápadní Evropě v letech 2003, 2005 a 2006 či ve střední Evropě v roce 2000, 2003 a 2006.

Lze se klimatické změně a jejím důsledkům bránit?

Problém klimatických změn nespočívá pouze ve vlastním oteplování planety. Daleko podstatnější je, že se mění celkové chování klimatického systému a jeho zpětných reakcí, z nichž ty negativní většinou převažují. Důsledky se projevují ve vodohospodářství, zemědělství, lesnictví, na celých ekosystémech, na ekonomické prosperitě, duševní pohodě a lidském zdraví apod. a jejich projevy nejsou všude stejné (viz tabulka). Obecně platí, že ekonomicky méně vyspělé oblasti jsou vůči klimatické změně méně odolné než státy bohatší, které obvykle potíže překonají snáze.

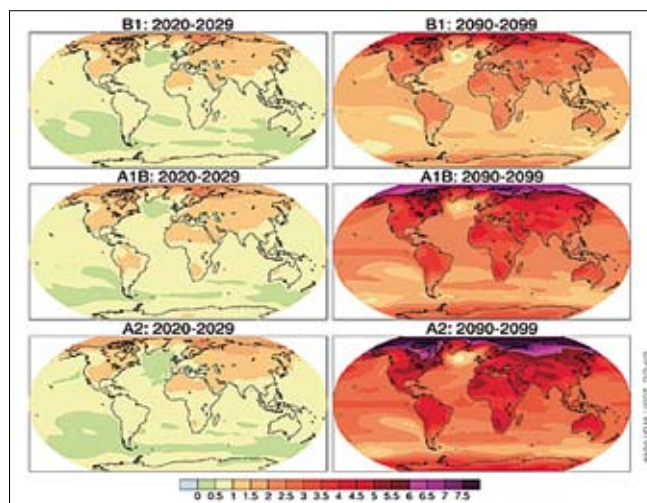
Mezi výhledově nejvíce narušené ekosystémy patří tundra, boreální lesy, horské, středomořské a pobřežní ekosystémy a korálové útesy. Zvyšováním hladin moří

a oceánů budou stále ohroženější pobřežní oblasti. Nejvíce budou ohrožovány vodní zdroje ve středních a nízkých zeměpisných šířkách v důsledku snižujícího se množství srážkových úhrnů a zvyšujícího se výparu a zemědělská produktivita v nižších zeměpisných šířkách v důsledku zvyšujícího se sucha. V oblastech s velmi nízkou adaptační kapacitou (rozvojové státy) lze předpokládat i významné dopady na lidské zdraví.

Z regionů budou nejvíce ohrožené arktické oblasti, kde je rychlost oteplování nejvyšší, dále subsaharská Afrika s nízkou

adaptační kapacitou, malé ostrovní státy zejména v Pacifiku či Karibiku, výrazně ohrožené vzestupem hladin oceánu a tropickými bouřemi a cyklony, a území kolem rozsáhlých asijských říčních delt, kde je enormní množství populace vystavené rizikům nárůstu hladin oceánu, tropických bouří a rozsáhlých záplav.

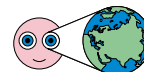
Při hledání řešení se nabízí dvě zcela základní možnosti. Jednou z nich je omezovat vliv člověka a snižovat objem emisí skleníkových plynů vypouštěných do atmosféry. Tuto možnost nelze opomíjet, ale sama o sobě nemůže rizika dopadů



Obr. 3: Modelová projekce rozložení teplotních změn pro tři vybrané scénáře SRES (B1, A1B a A2) a dvě časová období (2020–2029 a 2090–2099, B1: postupující globalizace, rychlé zavádění nových technologií (optimistický scénář), A1B: rychlý růst ekonomiky a vývoj nových technologií, vyvážené využívání všech zdrojů energie (nejpravděpodobnější scénář), A2: silný populační nárůst, přetrvávající regionální ekonomické rozdíly, pomalé zavádění nových technologií (pesimistický scénář))

Zdroj: IPCC, WGI, 2007

V ZORNÉM POLI GEOGRAFŮ



B1, A1B, A2: viz vysvětlivky k obr. 3, A1F1: rychlý růst ekonomiky a vývoj nových technologií, důraz na využívání fosilních paliv, A1T: rychlý růst ekonomiky a vývoj nových technologií, důraz na využívání nefosilních paliv, B2: lokální a regionální řešení ekologické udržitelnosti.

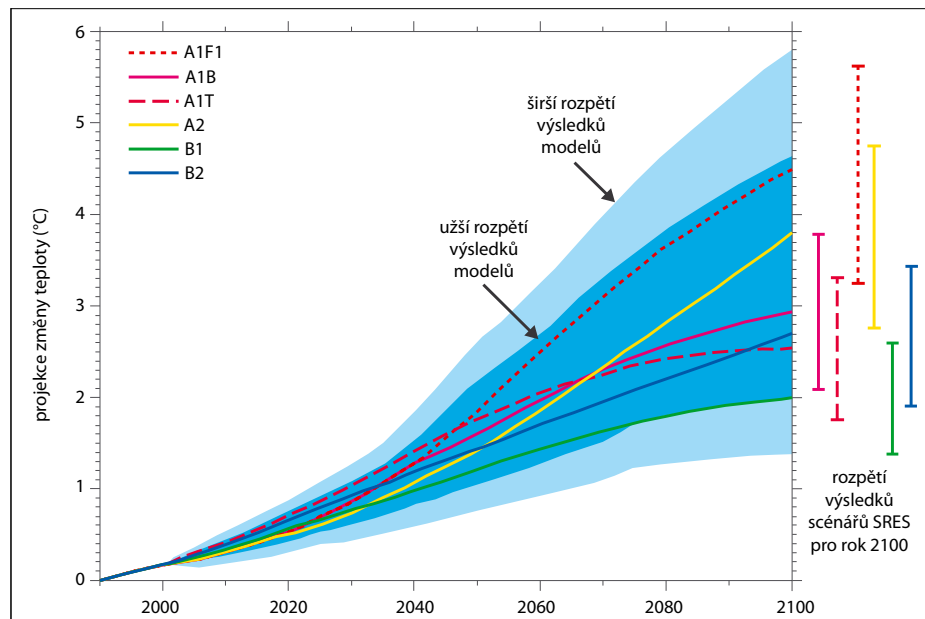
významně snížit. Druhou možností je hledat cesty, jak se probíhajícími změnami klimatu aktivně přizpůsobovat, a co nejučinnější a nejlevnější způsoby, jak jejich důsledky s předstihem minimalizovat.

Na této cestě bychom se měli zaměřit na zpřesňování současných odhadů trendů budoucích změn, na zkvalitňování předpovědi extrémních klimatických jevů a na hledání vhodných a účinných opatření vedoucích k omezení většinou negativních dopadů. Je třeba počítat s častějším výskytem jevů extrémnějšího počasí, ke kterým bude docházet v důsledku klimatických změn.

Jan Pretel,

Český hydrometeorologický ústav v Praze,
pretel@chmi.cz

Obr. 4: Modelové projekce nárůstů průměrné roční teploty na Zemi pro různé scénáře SRES



Zdroj: IPCC, WGI, 2001

Obr. 5: Postupné vysychání Aralského jezera



Postupné zmenšování plochy Aralského jezera je pozorováno již od počátku 60. let 20. století. Hladina jezera od roku 1966 poklesla o více než 16 metrů, pobřeží ustoupilo v průměru o 80 kilometrů, někde až o 150 km. Původní rozloha – 66 900 km² – se zmenšila na méně než polovinu, objem vody se snížil na čtvrtinu, salinita se zvýšila z 5 promile na 46 promile, a to jen do konce 20. století. V roce 1987 bylo původní jezero rozděleno na dvě části a v roce 1995 spojeno umělým kanálem, ale vysychání brzy znemožní provozování i tohoto provizorního kanálu. Jako hlavní příčiny postupného vysychání jezera je nejčastěji uváděno nadměrné využívání vod z řek Amudarja a Syrdarja pro závlahy bavlníkových plantáží. Svoji roli však bezpochyby hrají také procesy související s kolísáním a změnami klimatu. Například pokud jde o teploty vzduchu, lednová teplota vzduchu pro tento region vzrostla v období 1960 až 1990 o celých 6 stupňů Celsia. Vše má obrovský dopad na obyvatele v okolí jezera, nejen že rybáři přišli o zdroj obživy, ale nedostatek vody a její špatná kvalita zhoršuje zdravotní stav lidí, průměrný věk klesl pod 60 let, zkrátilo se vegetační období a velice silně působí větrná eroze, dochází k masivnímu zasolování půd. Zdroj: Nakladatelství ČGS.

LITERATURA A POJMY:

Climate Change 2001: The Scientific Basis, IPCC, 2001.
Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, Vulnerability, IPCC, 2001.
Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability, IPCC, 2007.
Climate Change 2007: The Physical Science Basis, IPCC, 2007.

Pojmy

Kryosféra – část fyzikogeografické sféry (hydrosféry, pedosféry a litosféry), jejíž průměrná roční teplota je více než dva roky pod bodem mrazu. Typický je výskyt vody v pevné fázi v podobě sněhu, firnu nebo ledu. Do kryosféry náleží oblasti ve vysokých zeměpisných šířkách (v Antarktidě, Arktidě) a ve velehorách.

ppmv (parts per million by volume) – jednotka užívaná v meteorologii a klimatologii pro určení koncentrace plynů. Znamená 1:1 000 000 v objemové jednotce, tedy 1 ppmv je 0,000001, tj. 0,0001 %.

Permafrost – dlouhodobě zmrzlá půda, tj. půda a zvětralina, jejíž průměrná roční teplota je minimálně 2 roky pod bodem mrazu.

Paleoklimatologie – věda, která podle přímých i nepřímých důkazů charakterizuje podnebí a jeho vývoj v geologické minulosti Země a jejích částí.

Radiační účinnost – schopnost plynu pohlcovat, resp. vyzařovat dlouhovlnné záření na jednotku plochy.

Terestrický vliv – mající pozemský původ, např. ochlazení související se zvýšenou vulkanickou aktivitou a následným růstem množství prachu v atmosféře (viz KŘÍŽEK, M.: Pohyby Země a klima. *Geografické rozhledy*. 2004, r. 14, č. 2, s. 30–31).

Extraterestrický vliv – mající původ mimo Zemi, např. změna intenzity záření Slunce (viz KŘÍŽEK, M.: Pohyby Země a klima. *Geografické rozhledy*. 2004, r. 14, č. 2, s. 30–31).

APLIKACE DO VÝUKY:

Pokuste se na základě přečteného textu odpovědět na následující otázky:

1. Jaký dopad klimatických změn lze očekávat na území Česka během následujících let? Co se asi nejvíce změní?
2. Jak bude v roce 2040 pravděpodobně vypadat klima Jižní Ameriky? Jak se změny projeví na území Ruské federace? Co tyto změny vyvolají v hospodářství a v běžném životě lidí?
3. Jaká opatření byste navrhovali přijmout jako ochranu před zvyšující se hladinou oceánu pro nízko položená území?