

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ Obor Vodní hospodářství



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Téma:

CO₂ v atmosféře – koncentrace v minulosti a výhled do budoucna

Vypracovala: Miroslava Jansová

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Jany Soukupové, a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 29.4.2011

.....

Poděkování

Děkuji tímto paní Ing. Janě Soukupové za odborné vedení a rady při zpracování bakalářské práce.

CO₂ v atmosféře – koncentrace v minulosti a výhled do budoucna

Carbon dioxide in the atmosphere – concentration in the past and the future outlook

Souhrn

Tato práce pojednává o vlastnostech oxidu uhličitého jako skleníkového plynu. Popisuje koloběh uhlíku v přírodě, který je spjat se vznikem a propady oxidu uhličitého v atmosféře. Soustředí se jak na jeho vznik z přírodních zásobníků, tak na vznik emisí vyprodukovaných lidskou činností. Popisuje jeho krátkodobé propady a ukládání do dlouhodobých uložišť. Upozorňuje na zvyšující se účinnost skleníkového efektu, v důsledku vzrůstající koncentrace oxidu uhličitého, jejímž následkem je globální oteplování. Popisuje vývoj klimatu v průběhu historie Země, a především upozorňuje na vztah mezi koncentrací oxidu uhličitého a teplotou. Pojednává o nebezpečí globálního oteplování a jeho vlivu na změnu klimatu, související se zvýšením průměrné teploty, s táním ledovců, se zvýšenou hladinou moří a změnou frekvence a intenzity přírodních katastrof. Zmiňuje se o klimatických subsystémech a jejich změnách, a zároveň se věnuje problematice zpětných vazeb, v jejichž důsledku by mohlo dojít ke globální katastrofě. Jedna kapitola je věnována vlivu oxidu uhličitého a dopadům globálního oteplování na vývoj rostlin, život živočichů a lidské zdraví. V závěru se zabývá technologiemi a politickými opatřeními vedoucími v budoucnu ke snížování emisí CO₂.

Klíčová slova

Oxid uhličitý (CO₂), globální oteplování, změna klimatu, koncentrace oxidu uhličitého, vznik a propady oxidu uhličitého, emise oxidu uhličitého, spalování fosilních paliv

Summary

This work deals with attributes of carbon dioxide as a glasshouse gas. It describes cycle of carbon in nature, which is related with formation and falls of carbon dioxide in the atmosphere. It is focused on its formation from natural reservoirs, also on the rise of emissions produced by human activity. This work describes its short-time falls and concentration in long-time storages. It warns about rising efficiency of glasshouse effects due rising concentration of carbon dioxide, which causes global warming. It describes evolution of climate during the Earth history, especially relation between concentration of carbon dioxide and temperature. It deals with the danger of global warming and its influence on the climate change related with average temperature rising, iceberg melting, increased sea level and changes of frequency and intensity of natural disasters. It mentions climatic subsystems and their changes, also it pay attention to feedback problems for which a global disasters could come out. One chapters is about the influence of carbon dioxide and impacts of global warming to flora evolution, animal lives and human health. At the end it deals with technologies and political steps leading to reduction of CO₂ emissions in the future.

Keywords

Carbon dioxide (CO₂), global warming, climate change, carbon dioxide concentration, concentration and fall of carbon dioxide, carbon dioxide emissions, burning of fossil fuel

Obsah

1. Úvod.....	9
2. CO ₂ – charakteristika, výskyt a koncentrace v atmosféře.....	10
2.1. CO ₂ – charakteristika.....	10
2.2. CO ₂ – výskyt a koncentrace v atmosféře.....	11
3. Zdroje, propady a koloběh CO ₂	15
3.1. Koloběh CO ₂	15
3.2. Zdroje CO ₂	15
3.2.1. Biosféra.....	16
3.2.2. Litosféra.....	16
3.2.3. Lidská činnost podílející se na emisích CO ₂	16
3.2.4. Odlesňování.....	17
3.2.5. Změny v užívání půdy.....	18
3.2.6. Močály.....	18
3.3. Propady CO ₂	18
3.3.1. Oceán.....	19
3.3.2. Změny v užívání krajiny.....	20
3.3.3. Litosféra.....	20
3.3.4. Odstraňování CO ₂ z atmosféry a jeho dlouhodobé ukládání.....	20
4. Skleníkový efekt.....	23
5. Koncentrace CO ₂ v minulosti.....	25
5.1. Paleoklimatické záznamy.....	25
5.1.1. Ledovcové vrty.....	25
5.1.2. Radiokarbonová metoda.....	26
5.1.3. Pylová analýza.....	26
5.1.4. Letokruhy stromů.....	26
5.2. Vývoj klimatu Země v souvislosti s koncentrací CO ₂	27
6. Dnešní koncentrace a souvislosti se změnou klimatu.....	32
6.1. Klimatický systém Země.....	32
6.2. Faktory ovlivňující klima.....	33
6.3. Vliv lidské činnosti na globální změnu klimatu.....	33
6.4. Klimatické změny.....	34
6.4.1. Teplota.....	34
6.4.2. Tání ledovců, zvýšení hladiny oceánů a narušení oceánské cirkulace.....	35
6.4.3. Extrémní meteorologické jevy a změna hydrologického cyklu.....	38
6.4.4. Vliv změny klimatu na zemědělství.....	40
6.5. Působení zpětných vazeb.....	40

6.5.1.	Albedo.....	41
6.5.2.	Oblaka.....	41
6.5.3.	Aerosoly.....	41
6.5.4.	Oceán.....	42
6.5.5.	Vegetace.....	42
6.5.6.	Hydráty metanu.....	42
6.6.	Názory vědců na globální oteplování.....	43
6.7.	Stanovisko IPCC.....	46
6.8.	Vývoj klimatu v průběhu 21. století.....	47
7.	Vliv CO ₂ na živé organismy.....	48
7.1.	Vliv změny koncentrace CO ₂ na růst rostlin.....	48
7.2.	Vliv zvýšené koncentrace CO ₂ na mořskou biotu.....	51
7.3.	Vliv CO ₂ na životy lidí a živočichů.....	51
7.4.	Nepřímé účinky zvýšené koncentrace CO ₂ na lidské zdraví.....	52
8.	Budoucí vývoj emisí CO ₂ a klimatických změn.....	54
8.1.	Politická stanoviska na snižování emisí CO ₂	54
8.2.	Technologická opatření na snižování emisí CO ₂	54
8.3.	Zdroje energie v ČR.....	56
8.4.	Klimatické modely.....	56
8.5.	Budoucí vývoj klimatu.....	57
9.	Závěr.....	59
10.	Seznam literatury.....	61
11.	Přílohy.....	63
12.	Seznam grafů.....	76

1. Úvod

Problematika globálního oteplování je stále aktuálnější, neboť se stále častěji potýkáme s jejími důsledky. Frekvence přírodních katastrof se stále snižuje a jejich ničivé následky jsou stále větší. Tání ledovců, zvyšování mořské hladiny, extrémní teplotní rozdíly, značná sucha a náhlé vlny veder, to vše je přisuzováno klimatickým změnám, vzniklých v důsledku globálního oteplování. Globální oteplování je v současné době prokázané a s nejvyšší pravděpodobností je způsobeno antropogenní činností. Na počátku průmyslové revoluce se začaly využívat k vytvoření energie fosilní paliva, která produkují emise CO₂. CO₂ je skleníkový plyn, jehož koncentrace v atmosféře začala zvyšovat průměrnou globální teplotu. Tento plyn byl v atmosféře v předindustriálním období obsažen jen ve stopovém množství a i tato koncentrace stačila k tomu, aby teplota na Zemi umožnila vznik života. Bez skleníkových plynů by život na naší planetě nebyl možný, neboť vznikl právě díky teplotní rovnováze, která kolísá jen v rozmezí několika desítek stupňů Celsia. Velikost Země a jejího plynného obalu způsobuje, že se veškeré změny klimatu projevují se značným zpožděním. Stále zvyšující se množství emisí CO₂ však může narušit rovnováhu, která na Zemi vznikala po miliony let. Člověk dokázal složení atmosféry pozměnit již během necelých dvou staletí. Nejvíce emisí CO₂ produkuje spalování fosilních paliv, snižování rozlohy lesů především v tropickém pásmu. Znečišťování moří a produkování značného množství odpadů, to vše přispívá ke změnám klimatu.

Otázka globálního oteplování se stala během posledních let zásadním vědeckým, ekonomickým a politickým problémem. Změnami klimatu se začala zabývat Organizace spojených národů, která v roce 1988 vytvořila Mezivládní panel pro otázky klimatických změn IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Ačkoli tento orgán potvrdil nebezpečí globálního oteplování, z řad vědců, politiků a ekonomů se stále častěji ozývají hlasy globální oteplování popírající.

Zemská rovnováha je velmi křehká a člověk, aniž by tušil jaké nebezpečí ho čeká, tak tuto rovnováhu silně narušuje. Ke klimatickým změnám docházelo již mnohokrát v minulosti, a jistě k nim ještě docházet bude, ale globální oteplování je zrádné v tom, že je velmi rychlé, tudíž dává menší šanci k přizpůsobení a přežití nejen lidí ale i veškeré biosféry.

2. CO₂ – charakteristika, výskyt a koncentrace v atmosféře

2.1. Charakteristika CO₂

Oxid uhličitý je plyn, tvořený jedním atomem uhlíku a dvěma atomy kyslíku. Jeho hustota je vyšší než hustota vzduchu, proto se v prostorách s nedostatečnou výměnou vzduchu hromadí u země. Dobře se rozpouští ve vodě, především v oceánech, ale je i složkou srážkové vody. Při rozpouštění se zčásti mění na hydrogenuhličitanové a uhličitanové ionty a vzniká slabá kyselina. Při vysoké koncentraci rozpuštěného CO₂ ve vodě dochází ke změně pH, způsobuje její kyselou reakci. Rozpustnost CO₂ ve vodě klesá se zvyšující se teplotou a stoupá se zvyšujícím se tlakem. [27,12]

Oxid uhličitý je spjat s veškerým životem na Zemi. Účastní se koloběhu uhlíku v procesu dýchání a fotosyntézy. Uhlík s chemickou značkou C patří mezi nejčastěji se vyskytující látky na Zemi. Čistý uhlík se na naší planetě vyskytuje ve formě grafitu, sazí, dřevěného uhlí nebo jako diamant. Uhlík má mimořádnou schopnost vytvářet sloučeniny s velmi rozdílnými vlastnostmi. Tuto schopnost využívají organismy ke svým životním pochodům. Do živých organismů se uhlík dostává ve formě CO₂ fotosyntézou rostlin nebo potravním řetězcem u živočichů. Během fotosyntézy rostliny přeměňují CO₂ na jednoduchou sloučeninu uhlíku a vytvářejí z něj svou biomasu. [16]

Uhlík obsažený v biosféře je v rovnováze s koncentrací v atmosféře. Pro udržení stálé koncentrace se CO₂ uvolněný dýcháním živočichů přeměňuje fotosyntézou na kyslík. Podle způsobu fotosyntézy dělíme rostliny do několika kategorií, z nichž některé reagují na vyšší koncentraci lépe než jiné. V celku však vyšší koncentrace CO₂ v ovzduší rostlinám prospívá, ale u živočichů může vést až k jejich uhynutí. Několikaprocentní koncentrace CO₂ způsobuje živočichům dýchací potíže. Dlouhodobý pobyt v prostředí, kde je koncentrace CO₂ vyšší jak 0,5 % způsobuje vážné zdravotní poruchy. Delší působení desetiprocentní a vyšší koncentrace vede ke smrti. [27] Únik tohoto plynu je velmi nebezpečný především díky jeho vlastnostem. Je bez barvy, zápachu a bezprostředně po svém výronu se zdržuje při zemi, než se postupně rozptýlí. Vysoká koncentrace může způsobit smrt téměř okamžitě. Roku 1986 v Africkém Kamerunu vypustilo kráterové jezero Nyos do vzduchu velké množství CO₂. Tento plyn se usadil kolem jezera, kde během chvíle udusil 1800 lidí a tisíce domácích i divokých zvířat.

V malé koncentraci však škodlivý není, ale naopak je k životu na Zemi nutný. [5] Oxid uhličitý je skleníkový plyn, který udržuje společně s dalšími plyny průměrnou teplotu na Zemi kolem 15 °C. Kdyby v atmosféře nebyla taková koncentrace skleníkových plynů, život na Zemi by nebyl v současné podobě možný, neboť by Země byla pokryta silnou vrstvou ledu. [27] V současné době je oxid uhličitý velmi diskutovaným plynem, a to právě díky vlastnosti zachytávání dlouhovlnného záření, čímž přispívá k oteplování Země. CO₂ nemusí působit jako hlavní činitel oteplování klimatu, ale jako spouštěcí mechanismus pro vodní páru a další jevy pozitivní zpětné vazby. CO₂ na rozdíl od vodní páry nevyvrzává při běžných teplotách a proto je rovnoměrně rozptýlen až do stratosféry. [5] Energie vytvořená pro lidskou činnost je získávána z velké části spalováním fosilních paliv, při čemž se uvolňuje do atmosféry miliony let pohřbený oxid uhličitý. Koncentrace CO₂ značně stoupá, přičemž doba jeho setrvání v atmosféře se odhaduje od 100 do 150 let. Vliv emisí závisí na vzájemném vztahu mezi atmosférou, biosférou a

oceánem. V přírodním koloběhu jsou zdroje uhlíku v rovnováze s jejich propady. Doba setrvání emisního oxidu uhličitého závisí na tom, jak rychle ho mohou přírodní zásobníky pojmout. Životnost jednotlivých molekul oxidu uhličitého v atmosféře se tak značně liší. Postupným zvyšováním jeho koncentrace se může jeho setrvání v atmosféře prodlužovat. Zvýšená koncentrace CO₂ vede ke globálnímu oteplování a k zásadním klimatickým změnám. [1]

2.2. CO₂ - Výskyt a jeho koncentrace v atmosféře

Oxid uhličitý je těžší nežli vzduch, proto se drží při zemi. Ve zvýšené koncentraci se tak vyskytuje v jeskyních, na dně propastí nebo ve sklepeních. [27] Velké množství koncentrace CO₂ se vyskytuje ve špatně větraných místnostech s vysokým počtem lidí, přičemž tato koncentrace může obsahovat až jednou takové množství než je obsažené v atmosféře.[3]

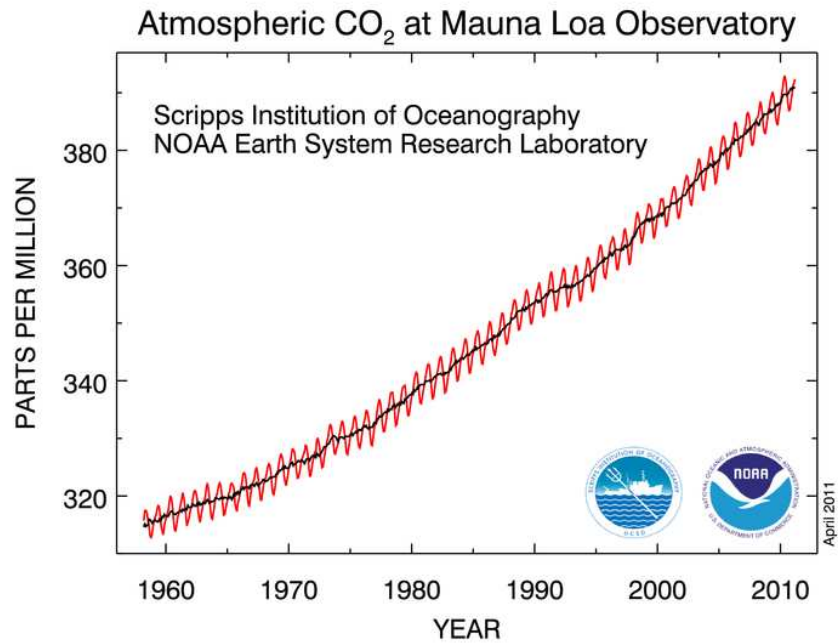
Oxid uhličitý se účastní koloběhu uhlíku v přírodě. Vzniká při uvolňování uhlíku do atmosféry, kde oxiduje na CO₂. CO₂ je v atmosféře i v zemské kůře zastoupen v relativně malém množství, přičemž v zemské kůře se nachází především v ložiscích fosilních paliv. Uhlík je v největším množství uložen v horninách, v ložiscích fosilních paliv, v hydrosféře jako rozpustné ionty, a ve formě CO₂ v atmosféře. Organicky vázaný uhlík se nachází ve formě humusu na pevninách nebo mrtvé biomasy v oceánech. Především ale slouží k výstavbě tkání živé biomase. [2, 16]

Koncentrace CO₂ v atmosféře kolísala za posledních milion let v mezích od 180 až 280 ppm. Symbol koncentrace 1. ppm vyjadřuje, že v milionu molekul vzduchu je jedna molekula CO₂. Koncentrace 180 ppm byla naměřena v nechladnějších fázích dob ledových, naposledy asi před 16 000 lety. Od té doby se koncentrace zvyšovala až k hodnotě 280 ppm, typickou pro období dob meziledových. [3] Od počátku průmyslové revoluce, přibližně před sto padesáti lety, se hodnota koncentrace zvýšila z 280 ppm na současných 389 ppm CO₂. [10]

Lokální koncentrace CO₂ se mění v průběhu dne. Rozdíly v koncentraci CO₂ na různých místech jsou sice patrné, ale v důsledku dlouhé životnosti plynu v atmosféře dochází za pomoci cirkulace vzduchu k rovnoměrnému rozptýlení. Průměrná doba setrvání v atmosféře je odhadována na více jak sto let. [27]

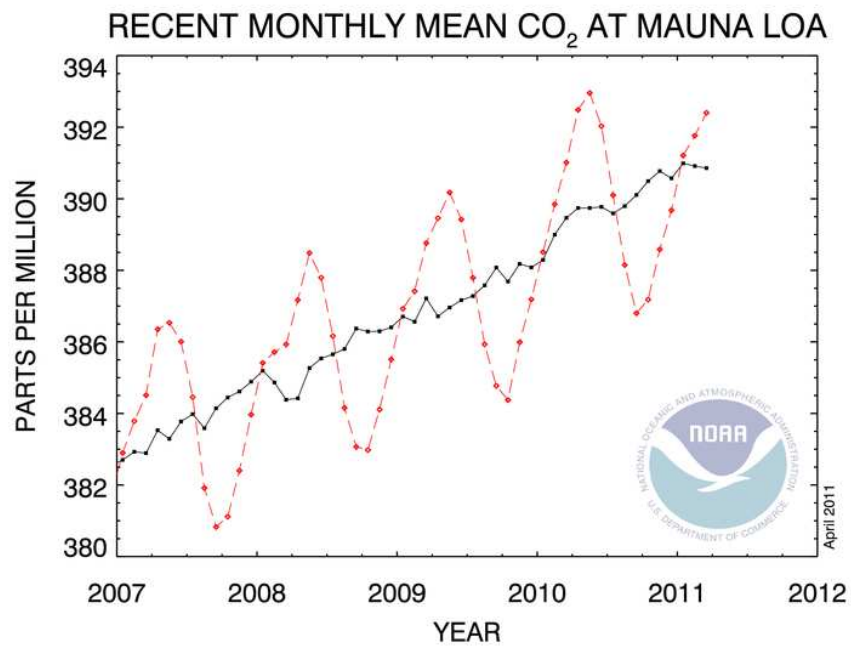
Koncentrace kolísá především v průběhu roku v závislosti na ročním období. V oblastech mírného pásma osciluje v rozmezí 2 %, rozdíl mezi maximem a minimem tak činí asi 7 ppm. Na severní polokouli je hodně oblastí zalesněno, což způsobuje že se koncentrace CO₂ mění sezónně podle stavu vegetace v závislosti na poměru intenzity fotosyntetických a respiračních procesů vegetace. V souladu s metabolismem zelených rostlin koncentrace CO₂ nabývá svého maxima v dubnu až květnu, což je konec vegetačního klidu. V tomto období převládá respirace nad fotosyntézou. Minimální koncentrace se vyskytuje v září, na konci vegetačního období. Na jižní polokouli ovlivňuje koncentraci oxidu uhličitého oceán, který zde převládá. Obsah oxidu uhličitého tak ovlivňuje oboustranná difúze mezi hladinou oceánu a atmosférou. [2, 20, 27,]

Graf 1. Koncentrace CO₂ v atmosféře získaná měřením na stanici Mauna Loa na Havajských ostrovech v období 1955 - 2011



Zdroj: <http://www.esrl.noaa.gov>

Graf 2. Kolísání koncentrace CO₂ v závislosti na ročním období, stanice Mauna Loa na Havajských ostrovech v období 2007 - 2011



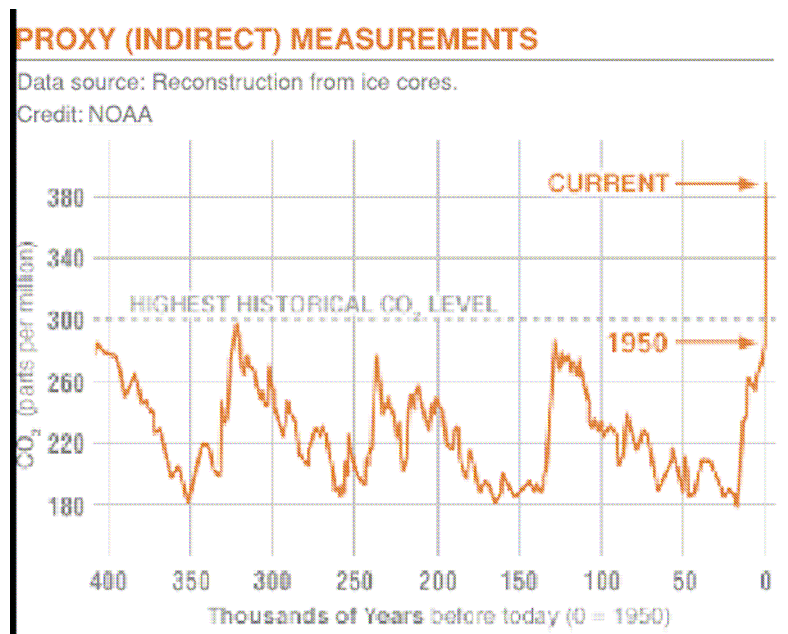
Zdroj: <http://www.esrl.noaa.gov>

Pokud by veškeré množství CO_2 vyprodukované lidskou činností mělo zůstat v atmosféře, činil by roční přírůstek koncentrace CO_2 0,7 %. Ve skutečnosti byl však naměřen přírůstek jen 0,4 %. V atmosféře tedy nezůstávají veškeré emise antropogenního CO_2 ale jen jejich část. Celosvětový tok uhlíku není dosud objasněn, ale vědci se domnívají, že se zvyšující koncentrací CO_2 se zvyšuje i ukládání uhlíku v oceánu, což je největší zásobník uhlíku. Také není známo jak velké množství uhlíku fixují rostliny, neboť zvýšená koncentrace CO_2 podporuje rostliny ke zrychlení fotosyntézy a tvorbě nové biomasy. Část zbývajících emisí pohltí půdy a povrchové pevninské vody. Největší obavy však vzbuzují limity těchto zásobníků, neboť po naplnění jejich kapacity, by se cyklus ukládání uhlíku mohl otočit, přičemž by došlo k jeho postupnému uvolňování zpět do atmosféry. [2, 27]

Složení atmosféry se za posledních 500 milionů let téměř nezměnilo, což pozitivně ovlivnilo vývoj života na Zemi. Koncentrace CO_2 je po celou dobu v rovnováze, která je udržována celým systémem. Vznikla zde jakási bilance, která vyrovnávala vstupy a výstupy jednotlivých složek v atmosféře. Při snížené koncentraci CO_2 v atmosféře je pohlcování rostlinami omezeno a naopak při zvýšení koncentrace CO_2 stoupá fixace rostlinami. Jednou z nejvýznamnějších vlastností ovzduší je efekt účinného samočištění, při kterém se obnovuje přirozené složení atmosféry. Tuto schopnost zachovává celá řada stabilizačních mechanismů. Srážková činnost odstraňuje z atmosféry pevné i plynné částice, které tam nepatří. Napomáhá tak jejich ukládání do dlouhodobých uložišť. Významné jsou také interakce mezi jednotlivými geosférami, a to hydrosférou, biosférou a litosférou. V dávných geologických obdobích převažovala fixace CO_2 nad jeho uvolňováním, díky hromadění a uložení této biomasy vděčíme dnes za současné zásoby fosilních paliv. Tento zdroj začali lidé využívat na počátku 18. století za účelem získávání energie pro svou hospodářskou činnost. [2]

Mezi fosilní paliva patří ropa, uhlí a zemní plyn. Uhlí vzniklo fosilizací zbytků rostlin, které před miliony let rostly v bažinách. Stromy tehdy klesly do močálů a nedostatek kyslíku zabránil jejich rozkladu, čímž se na sebe vršily další a další vrstvy odumřelé vegetace. Písek a bahno z řek pak tuto rostlinou hmotu stlačili a odvedly z ní nečistoty a vlhkost. Močál se postupem času propadl do Země, kde se chemické složení organického materiálu změnilo. Nejprve z rašeliny vzniklo hnědé uhlí, pak uhlí černé až nakonec vznikl antracit a gagát. Ropa vznikla jako produkt z prastarých oceánů a delt řek. Skládá se ze zbytků planktonů. Většina ropy vznikla v hlubokých klidných oceánech, kde byl nedostatek kyslíku. Po odumření tam byl snesen fytoplankton, který se za nedostatku kyslíku nerozkládal a tvořil vrstvy. Tyto vrstvy odumřelé organické hmoty se dostali postupem času pod zem, kde byly stlačeny. Různými trhlinami v zemské kůře se část organické hmoty dostala do jiné vrstvy, kde byla po miliony let uskladněna. Tato vrstva musela být porézní a vrstva nad ní zrnitá a nepropustná, zároveň musela být dostatečně odolná vůči tlaku, který zde vznikl. Ve svém uložišti se po miliony let vařila při teplotě okolo 100 °C. Tyto paliva jsou zbytky organismů, které před miliony let absorbovaly uhlík z atmosféry. Pokud spálíme dřevo, uvolníme uhlík, který necirkuloval v atmosféře několik desítek možná stovek let. Pokud spálíme uhlí, uvolníme do atmosféry uhlík, který do současného klimatu tak jak ho známe nepatří. [5]

Graf 3. Koncentrace oxidu uhličitého v období před 400 000 lety až po současnost.



Zdroj: www.nasa.gov

Graf 4. Koncentrace oxidu uhličitého v období 2005 – 23.2.2011

DIRECT MEASUREMENTS: 2005-PRESENT

Data source: Monthly measurements (corrected for average seasonal cycle) Credit: NOAA

Zdroj: www.nasa.gov

3. Koloběh CO₂, zdroje a propady

3.1 Koloběh CO₂

Chceme-li pochopit změny v koncentraci atmosférického oxidu uhličitého, musíme pochopit koloběh uhlíku. Oxid uhličitý se vyskytuje ve formě CO₂ v atmosféře a jako součást plynů v uhelných slojích. Ačkoli se oxid uhličitý účastní jen části koloběhu uhlíku, je jeho velmi významným činitelem. Při rozpuštění ve vodách je většina CO₂ přeměněna na ionty HCO₃ a CO₃²⁻. V biomase je přeměňován na uhlíkaté sloučeniny, především cukry, tuky a bílkoviny. [2, 27] Koloběh uhlíku v přírodě se skládá z mnoha vstupů a výstupů. Zdánlivě nezávislé části zemského systému, jako je hydrosféra, atmosféra, kryosféra, biosféra a geosféra, spolu úzce souvisí. Rozlišujeme 3 hlavní cykly uhlíku, a to cyklus biologický, geochemický a karbonátový. [16]

Uhlík v atmosféře přetrvává různě dlouhou dobu. Nejrychlejší je biologický cyklus, jehož koloběh je řízen respirací a fotosyntézou. Tento uhlík přetrvává v atmosféře po dobu asi dvaceti let. Vzniká fotosyntézou a dýcháním živých organismů, přičemž největší úlohu mají rostliny. Uhlík obsažený v odumřelé organické hmotě se během rozkladu vrací do atmosféry ve formě CO₂. Tento cyklus není zcela uzavřen. Část uhlíku obsažená v biomase se do cyklu nevrací. Výstup uhlíku z tohoto cyklu může být podpořen i změnou koncentrace CO₂ v atmosféře. Přičemž zvýšení koncentrace může vést k trvalému globálnímu přírůstku pevninské biomasy, nebo ke zrychlení ukládání uhlíku do přírodních zásobníků. Výstupem z biologického cyklu vznikl geochemický cyklus. Ten je podstatně pomalejší. Trvání tohoto cyklu při sedimentaci na dno oceánu a tvorbě sedimentů trvá desítky až stovky milionů let. Výstupem z biologického cyklu se část vyprodukované biomasy odnímá do sedimentů a přibližně stejná část je navracena zpět do atmosféry ve formě CO₂. Z atmosférického CO₂ je část pohlcena vodou ze srážek a oceánem, kdy se CO₂ přemění na karbonáty, z nichž se část opět naváže do sedimentů. Tyto sedimenty jsou po čase recyklovány a postup přeměny uhlíku začíná nanovo. Posledním cyklem je cyklus karbonátový. Doba tohoto cyklu je asi 2.10⁸ let. Tento cyklus je spojený se sedimentací uhlíku na dně oceánu. [2,16]

3.2. Zdroje CO₂

Zdroje uhlíku jsou kompenzovány propady uhlíku. Oxid uhličitý ve skutečnosti nemá žádné reálné propady. Tento plyn je totiž součástí koloběhu uhlíku, a tím cirkuluje mezi různými zásobníky jako je atmosféra, oceán a biosféra. Zdrojem oxidu uhličitého je zásobník, který v přírodním koloběhu nejprve uhlík fixuje, a po spuštění různých mechanismů, uhlík uvolňuje zpět do atmosféry. Tyto zásobníky sloužící jako dlouhodobé uložení uhlíku jsou označovány jako sinky. [20]

3.2.1. Biosféra

Oxid uhličitý vzniká dýcháním biosféry. Z velké části především dýcháním mikroorganismů v půdě. Během dýchání se uhlík obsažený v organických látkách uvolní do vzduchu a sloučí se s kyslíkem. Živočiškové přeměnou CO_2 získávají především energii k životním pochodům, zatímco rostliny fotosyntézou tvoří svou biomasu. Oxid uhličitý obsažený v biosféře je v rovnováze s CO_2 obsaženým v atmosféře, tento proces tak nemá na zvyšování koncentrace téměř žádný vliv, a to především pro svou krátkou životnost v atmosféře. [27]

3.2.2. Litosféra

Litosférickým zdrojem oxidu uhličitého jsou procesy diagenese a metamorfózy hornin, kdy se při chemických přeměnách uvolňuje voda a oxid uhličitý. Nejdynamičtější zdroj je magmatická a vulkanická činnost, při kterých je ve velmi krátkém čase uvolňováno značné množství částic a plynů, přičemž plynné emise tvoří mimo jiné právě CO_2 . [2]

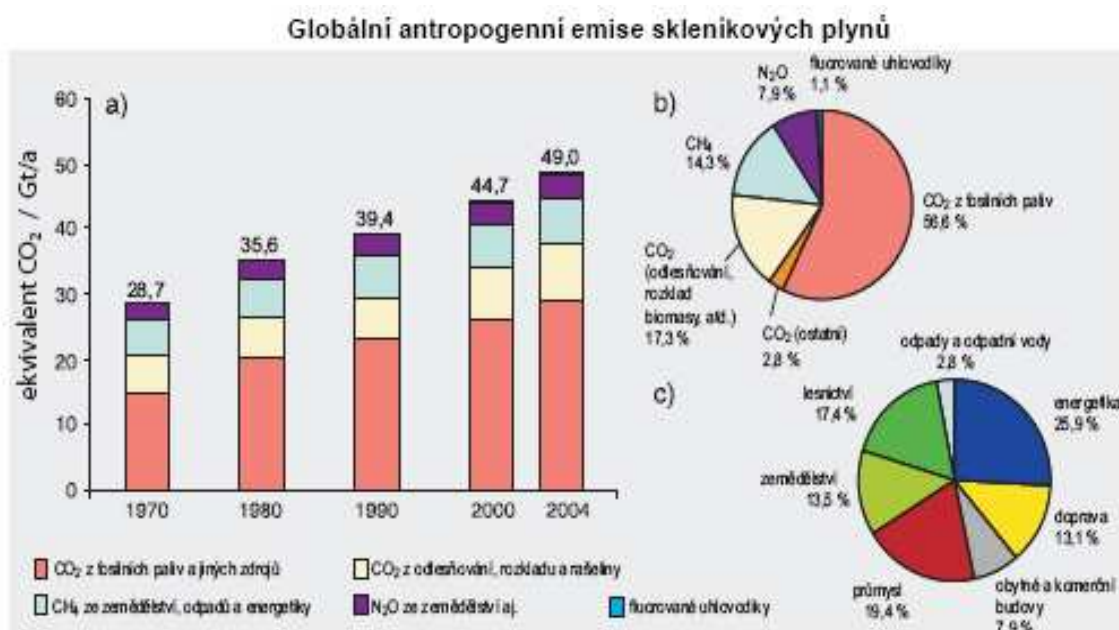
Složení atmosféry ovlivňuje i proces karbonizace. Živce a další horninotvorné minerály při zvětrávání uvolňují alkálie K, Na, Ca, které při vázání do uhličitánů potřebují ke svému vzniku oxid uhličitý. Obrovské množství uhlíku je zachyceno ve vápencích. Avšak uvolňování a vázání tohoto zásobníku probíhá tak pomalu, že nemá na složení atmosféry téměř žádný vliv.

3.2.3. Lidská činnost podílející se na emisích CO_2

Během průmyslové revoluce začalo lidstvo používat k získávání energie fosilní paliva, přičemž při spalování fosilních paliv vznikají emise CO_2 . Výskyt lokálních emisí se však s dalším ekonomickým vývojem a populačním nárůstem rozrostl do globálních rozměrů. Od roku 1980 se ze všech přirozených skleníkových plynů na globálním oteplování nejvíce podílel oxid uhličitý, následoval metan a po něm oxid dusný. Emise freonů a dalších plynů vytvořených člověkem, způsobily větší problémy než ostatní skleníkové plyny, ale na základě Montrealského protokolu z roku 1990 došlo k jejich snížení. [1]

Lidská činnost podílející se na emisích CO_2 je především energetika, která zaujímá největší podíl vzniku CO_2 právě spalováním fosilních paliv. Dalším zdrojem emisí je změna v užívání pevnin, zahrnující odlesňování a kácení deštných pralesů s jejich následným vypalováním. Přeměny lesů na zemědělsky a jinak využívané půdy společně s degradací zemědělsky obdělávaných půd vytvářejí svým rozsahem stále významnější zdroj CO_2 . Současně se populačním růstem se zvyšuje poptávka po automobilech, přičemž se emise vytvořené dopravou nezadržitelně zvyšují. Část emisí vzniká na skládkách, rozkládáním organické hmoty a zbylou část produkují průmyslové závody a domácnosti. [26]

Graf 5. Globální roční emise antropogenních skleníkových plynů v období let 1970 – 2004



(b) Podíl různých antropogenních skleníkových plynů na celkových emisích v roce 2004 vyjádřených v ekvivalentu CO₂

(c) Podíl různých sektorů na celkových emisích skleníkových plynů v roce 2004 vyjádřených v ekvivalentu CO₂

Zdroj: www.ipcc.ch

3.2.4. Odlesňování

Odlesňování deštných pralesů v subtropickém pásmu se na emisích CO₂ projevuje značným způsobem. Tato zásoba uhlíku byla uložena v porostu po tisíce let. Hlavním důvodem pro odlesňování je získávání prostoru pro zemědělské a dobytkářské účely. Zatímco v současné době dochází ve středních zeměpisných šířkách k zalesňování, trendem v tropickém pásmu je mýcení a vypalování porostu, především chudými venkovany a nadnárodními korporacemi. [1]

Odpůrci globálního oteplování tvrdí, že při spalování dřeva a přírodních požárech přebytečné CO₂ nevzniká. Vlastní spalování je z hlediska koloběhu uhlíku urychlením uhlíkového cyklu, přičemž dochází k fixaci části uhlíku do dřevěného uhlí a tyto zbytky se váží do sedimentů a oxidaci nepodléhají. [36]

Avšak změny v hospodaření s půdou, jako vyrovnávání terénu a odlesňování produkují CO₂ právě proto, protože je vegetace pálena nebo vyorána. V přírodním procesu je stará vegetace nahrazována novou, která na sebe během růstu váže CO₂, takže mezi uvolňováním a ukládáním CO₂ funguje rovnováha, která je v současnosti lidskými zásahy narušována. [1]

Se zvyšující se koncentrací CO₂ se zvyšuje i rychlost fotosyntézy a ukládání uhlíku do biomasy. Z toho vyplývá otázka, proč rostliny nedokáží pohlcovat veškeré emise CO₂. Je to způsobeno tím, že jeho koncentrace se zvyšuje příliš rychle na to, aby se rostliny dokázaly adaptovat a urychlily fixaci. Současně dochází ke snižování množství vegetace, která by byla schopna fixovat největší množství uhlíku na Zemi. [24]

3.2.5. Změny v užívání půdy

V půdě je koncentrace CO₂ 40 – 100krát větší než v atmosféře. CO₂ je uvolňován půdními mikroorganismy při rozkladu organických látek. Uhlík je součástí půdy především v subtropické až arktické oblasti, zatímco v tropických oblastech je půda na uhlík chudá a snadno dochází k jejímu vyčerpání. Uhlík prakticky neobsahují ani pouštní a kamenité půdy. Rozdíl v koncentraci CO₂ obsažené v půdním vzduchu a v atmosféře způsobuje difúzi, což je proces který přenáší vyšší koncentraci půdního CO₂ do atmosféry, která je na koncentraci CO₂ chudší. Tento proces se nazývá dýchání půdy. Přeměna přirozených porostů na zemědělsky obdělávanou půdu snižuje obsah organických látek v půdě, čímž se do atmosféry uvolňuje CO₂. Intenzivní formy zemědělství pak snižování těchto látek v půdě ještě prohlubují a urychlují. Nešetrné zemědělství způsobuje ztráty zemědělské půdy. Rozklad odumřelé vegetace uvolňuje do půdního vzduchu velké množství CO₂. Půdní dýchání je urychlováno orbou a další nešetrnou zemědělskou činností. [2, 12]

3.2.6. Močály

K emisím přispívá vysoušení močálů. Zpomalení půdního dýchání v přirozeném procesu způsobuje zamokření půdy, kdy se půdní póry naplní vodou a zpomalí tak difúzní tok, čímž se sníží produkce CO₂. Močály uchovávaly po dlouhou dobu odumřelé zbytky organické hmoty, ta se bez dostatečného přísunu kyslíku nerozkládala. Močály tak sloužily jako dlouhodobé uložení uhlíku. Po jejich vysušení, došlo k rozkladu této hmoty a uvolnění CO₂ do atmosféry. [2, 12]

3.3. Propady CO₂

Největší část stávajících propadů atmosférického oxidu uhličitého je připisována nasycení oceánu a fixaci rostlin, především lesními porosty, popřípadě ukládání v půdě. Z matematických modelů však vyplývá, že doposud známé sinky by nestačili pojmout takové množství CO₂, které se ve skutečnosti každým rokem vytrácí. Vědci se tak domnívají, že část emisí je pohlcena chybějícím sinkem. V současnosti nelze u přírodních propadů uhlíku s jistotou určit přesnou bilanci. Jedná se především o odhady, které se neustále zpřesňují. Nejistota zůstává v množství CO₂ pohlcovaným oceánem. Zároveň teprve v nedávné době byla objasněna spojitost mezi kolísáním koncentrace CO₂ a rychlostí fotosyntézy rostlin, a právě proto by známé sinky mohly pojmout větší množství uhlíku, než jim vědci přisuzují. [12]

Kapacita zásobníků CO₂ je omezená a současně jejich činnost závisí na změně klimatu. Někteří autoři upozorňují na to, že postupně vlivem klimatických změn by se část sinků mohla přeměnit na zdroj CO₂. Zvýšení teploty by mohlo podpořit výdej CO₂ dýcháním organismů, a to především mikroorganismů i některých rostlin. Po nasycení oceánu oxidem uhličitým a zvýšením teploty vody, by se cyklus mohl obrátit, přičemž by docházelo k jeho uvolňování zpět do atmosféry. [27]

3.3.1. Oceán

Největším zásobníkem vázaného CO₂ je oceán, který je s atmosférou provázán hydrologickým cyklem. Množství CO₂ uložené oceánem je ve srovnání s ostatními zásobníky několikanásobně vyšší. Dosud se neví, kolik CO₂ je oceán schopen absorbovat. Není totiž známo, jakou rychlostí probíhá výměna mezi oceánskými vrstvami, a nakolik je omezena absorpce povrchovou vrstvou oceánu. Podle oceánologických modelů je oceán schopen pojmout ročně přibližně asi 60% emisí CO₂ vzniklých antropogenní činností. S přibývajícemi emisemi by se mohlo toto množství zvyšovat, ale podle všeho jen v rámci určitých limitů, poté by mohlo dojít k jeho uvolňování zpět do atmosféry. [1, 16]

Oceán lze rozdělit na tři zásobníky a to svrchní, střední a hlubinnou vrstvu. Svrchní vrstva oceánu je sice malý ale reaktivní zásobník. Dokáže totiž ovlivnit složení atmosféry během několika dnů až roků, protože mořská hladina zprostředkovává výměnu uhlíku mezi oceánem a atmosférou. Uhlík se zde vyskytuje ve formě organických zbytků, anorganických karbonátů, bikarbonátů a rozpuštěného organického uhlíku. Střední oceán představuje zásobník biogenních prvků. Výměna s atmosférou probíhá během stovek až tisíců let. V těchto vodách probíhá pomocí lokálních konvekčních cel výměna látek a tepla mezi hladinou a dnovými vodami. V hlubokých vodách oceánů poblíž dna se nachází největší množství uhlíku a to až 50krát větší množství než je obsažené v atmosféře. Uhlík se zde za vysokého tlaku ukládá do hydrátů metanu. Uhlík a živiny transportují do svrchních vrstev oceánu a do atmosféry hlubokomořské proudy. V průběhu dob ledových funguje cirkulace pulsním způsobem nebo dochází dokonce k jejímu zastavení. [2]

Oceány pokrývají dvě třetiny zemského povrchu a obsahují obrovské množství vody. Atmosférický CO₂ se rozpouští v povrchových vodách. Jeho rozpustnost závisí na teplotě vody. K rozpouštění atmosférického CO₂ dochází nejvíce ve vyšších zeměpisných šířkách, v blízkosti pólů. Zatímco teplé vody v rovníkových oblastech uvolňují část CO₂ zpět do atmosféry. Oteplování a ochlazování oceánských vod ovlivňuje také část mořské bioty. To je důležité, neboť právě mořská biota působí na propad uhlíku. V horních vrstvách oceánu za pomoci slunečního záření, dochází k fotosyntetické fixaci uhlíku mořským fytoplanktonem, především řasami a sinicemi. Zároveň rozpuštěný CO₂ vstupuje do mořských živočichů vytvářejících pevné schránky. Část CO₂ je dýcháním mořských živočichů uvolňována do vod, odkud se dostává difúzí zpět do atmosféry, další část fytoplanktonu je zkonsumována mořskými živočichy a zbylá část po odumření klesá na dno oceánu, kde se ukládá v podobě sedimentů. Zde pak mohou zůstat uloženy po tisíce let. [2, 27]

Problém by mohl nastat v momentě, kdy by se koncentrace CO₂ ve vodách zvýšila natolik, že by došlo ke změně pH oceánu. Tito mořští živočichové reagují citlivě na jakékoli změny v oceánu, především na okyselení, protože v kyselém prostředí nejsou schopni vyrábět uhličitanové schránky. [5]

3.3.2. Změny v užívání půdy

Půda bohatá na humus má vyšší produkci CO₂, zároveň má ale podíl humusu v půdě kladný vliv na fyzikální a chemické vlastnosti půdy. Snížení difúze lze dosáhnout optimálním hospodařením, a to především neorebnými postupy, konzervativní orbou a navrácením zbytků vegetace po sklizni do půdy, například mulčováním. Aby se tyto postupy hospodaření začaly globálně uplatňovat, musela by se zastavit současná kampaň na využívání biomasy na biopaliva.

3.3.3. Litosféra

Na globální koloběh uhlíku má vliv i desková tektonika. Při zvětrávání vyvěřelých hornin vzniká za pomoci CO₂ a vápníku pojivo CaCO₃, které pomáhá sedimentu s přeměnou na pevnou sedimentární horninu. CO₂ se tímto způsobem stává součástí velkých desek. Litosférické desky se od sebe buď vzdalují nebo do sebe narážejí a podsouvají se. Při zasouvání desek do hlubších partií litosféry tak pohřbívají i část atmosférického uhlíku. Rychlost pohybu desek je nerovnoměrná, proto je účinnost ukládání prvků v zemské kůře nerovnoměrná. Tento cyklus je dlouhodobý, neboť k uvolňování velké koncentrace CO₂ dochází například při sopečné erupci. [2, 12]

3.3.4. Odstraňování CO₂ z atmosféry a jeho dlouhodobé ukládání

Protože současné přírodní sinky nedokáží odstranit veškeré množství emisí vzniklých antropogenní činností, objevily se projekty, které by odbourávání napomohly. Současné návrhy navrhují ukládání kmenů stromů do oceánských hloubek, obnovení močálů a lesních porostů, hnojení oceánu a vhánění koncentrovaného CO₂ do oceánských hloubek nebo do podzemních uložišť. Současně s těmito návrhy se však objevily i geoinženýrské projekty. Tyto projekty jsou ve fázi teoretického výzkumu a jejich použití je v současnosti nereálné, především kvůli současným nedostačujícím technologiím. Chybou těchto projektů je odmítání úsilí o potlačení emisí CO₂, které způsobují globální oteplování. Geoinženýrské projekty se omezují pouze na to, aby potlačily následky globálního oteplování. [27]

Geosekvestrace je metoda, která předpokládá ukládání uhlíku pod zem a je výhodná v tom, že pod zem by se vlastně dostal uhlík, který byl nejprve ze země vydolován. Tato technologie se dokonce již osvědčila například v Norsku. Zachytávání a ukládání CO₂ lze provádět přímým odstraňováním plynného CO₂. Technologický postup, který tento proces umožňuje se nazývá zplynování uhlí. Touto metodou lze odstranit až 90 % CO₂. Nejprve se uhlí promíchá s vodou a kyslíkem, přičemž vznikne vodík a oxid uhelnatý. Vodík se spotřebuje jako palivo a oxid uhelnatý zkoncentrujeme na CO₂, který se ve vysoce koncentrované formě vhání zpět pod zem, a to do míst vhodných k jeho uskladnění. V několika ropných vrtech se CO₂ dokonce vhání zpět do ložiska a napomáhá udržovat tlak, který je potřebný k těžbě, přičemž většina CO₂ by měla zůstat pod zemí i po vytěžení. Bohužel použití této metody brání snížení účinnosti produkované energie, což by se mohlo projevit zvýšením její ceny. Z tuny antracitu se uvolní asi 3,7 tuny CO₂. Při převozu na místo uskladnění, vyvrtání vhodné díry a vypuštění CO₂ se spotřebuje další množství energie. Celkové náklady na zachycení, transport a uložení CO₂ v dlouhodobých uložištech jsou příliš vysoké na to, aby k zachytávání bylo

přikročeno. Další problém by nastal při jeho uvolnění, CO₂ je velmi nebezpečný plyn a vše živé na místě zadusí. Zemská kůra je neustále v pohybu, tudíž není k uložení CO₂ zcela vhodná. [5, 27]

Jeden z geoinženýrských projektů pro ukládání CO₂ v oceánech navrhuje, aby se do oceánu přidávaly železné piliny. Biologická produktivita v oceánech je omezena malým obsahem živin. Zdrojem železa jsou prašné bouře, které přenášejí do oceánu živiny z pevniny. Železo je jeden z nejčastějších limitujících prvků a je živinou, která podpoří rozvoj planktonu, především v jižních oceánech. V glaciálech množství planktonu rostlo, a to právě proto, že časté prašné bouře přinášely do oceánu velké množství železa a dalších živin. Zatímco v těchto obdobích objem biomasy na pevnině klesá, je tento úbytek kompenzován rostoucí biomasou v oceánu. Koncentrace CO₂ uvolňující se vegetací z pevniny se tak zachytává v oceánech a působí pokles CO₂ v atmosféře. Po odumření fytoplanktonu se jich část rozloží v povrchových vodách, a zbytek sedimentuje na oceánské dno. Vzhledem k chladnému a na kyslík chudému prostředí nedochází k jejich rozkladu, ale vznikají zde geologicky významné rezervoáry organicky vázaného uhlíku a hydrátů metanu. Nyní tento propad uhlíku významně přispívá v odbourávání atmosférických emisí způsobených antropogenní činností. Náklady na takový projekt jsou však značné, oproti nízké efektivitě. Mnozí ekologové tento proces napadají, protože mořské proudy mohou "hnojiva" přenést do míst, kde by náhlý dostatek živin mohl vést ke změně mezidruhového složení fytoplanktonu, což by mohlo mít za následek narušení potravního řetězce. Širší uplatnění také není možné, protože při přihnojení oceánu rostou určité druhy planktonu na úkor jiných, což vede k nerovnováze a ztrátě biodiverzity. [2, 27, 5]

Dalším z projektů pro ukládání CO₂ je jeho přímé vhánění do hloubky. CO₂ produkované elektrárnou by se zkoncentrovalo a zkapalnilo. Kapalné CO₂ by se pak vhánělo do mořských hlubin, kde by se rozpustilo ve vodě a ukládalo na mořském dně. Z technologického hlediska tomuto řešení nestálo nic v cestě, ale při vypuštění CO₂ bylo pozorováno, že organismy v okolí oblaku hynou. Rozpuštěné CO₂ může pozměnit kyselost pH vody, přičemž organismy vyskytující se v těchto hlubinách, žijí v rovnovážném prostředí, které se v nezměněné podobě uchovalo po tisíciletí. Okamžité zvýšení kyselosti vody vede k uhynutí mnohých z nich. Umístování koncentrovaného CO₂ se setkalo s nesouhlasem ekologů a kvůli narušení biodiverzity a masovému vymírání organismů se od něj upustilo. [5, 27, 37]

Další možností na ukládání CO₂ je půda a vegetace. A to především díky zemědělství s minimální orbou. Odvodněním půdy kvůli rozšíření zemědělské produkce bylo uvolněno do atmosféry CO₂, které zůstalo díky vodě zakonzervováno v půdě. Vlivem zlepšení vzdušného režimu půdy vznikla aerobní přeměna organické hmoty a zrychlením rozkladu se zrychlilo uvolňování uhlíku ve formě CO₂. Většina zemědělské půdy ztratila organickou hmotu a tedy i uhlík. Půda by kvůli svému značnému vyčerpání dokázala v současné době pojmout velký objem humusu obsahující uhlík. Pomocí eliminující orby a přímé setby by se zachytil uhlík, který by zde zůstal uložen. Problémem je zpočátku nutnost využití herbicidů, jejichž dopad na životní prostředí se stále zkoumá. [1, 12]

Pohlcování uhlíku by zajistilo také zvětšování biomasy zalesňováním. Pomocí biomasy lze extrahovat uhlík z atmosféry vázáním do vegetace. Ukládání uhlíku by mělo v budoucnu pokračovat především při vzniku nových lesních porostů a ochranou vzrostlých lesů. Toho lze docílit zachováním stávajících porostů, kterých je na severní polokouli dostatek, ale především redukcí odlesnění v tropických oblastech. Lesní porosty setrvávají v nezměněné podobě po desetiletí.

Po celou dobu v sobě váží obrovské množství uhlíku. Zalesňováním nových ploch lze dosáhnout okamžitého účinku snížení koncentrace CO₂, ale tato opatření nestačí k tomu, aby dokázala pojmout všechny emise CO₂. Lze je tak využít jako opatření dočasné, neboť lesy dokáží uhlík zadržet desítky maximálně stovky let a v dospělosti uhlík přestávají poutat. Při jejich rozkladu či těžbě a následnému využití uhlík naopak uvolňují zpět do atmosféry. Ukládání v lesních porostech je omezeno, protože plocha k zalesňování je konečná. Objem takto akumulovaného uhlíku tedy zůstane nižší než množství emisí uvolněné spalováním fosilních paliv. [25, 2]

Mezi geoinženýrské projekty patří vytvoření obrovské sluneční clony z tenkých kotoučů ve vnitřním Langrangeově bodě mezi Sluncem a Zemí. Vznikl by stínící oblak, který by rozptýlil část slunečního záření. Dalším projektem je vytvoření síranových kapének ve vysokých vrstvách atmosféry nebo vytvoření mlhy v troposféře rozprašováním mořské vody, což by vytvořilo mraky, které by odrážely část slunečního záření. Tyto projekty jsou spíše založené na bázi teorií, než že by k nim bylo skutečně přikročeno. Byly by velmi nákladné a málo efektivní, a právě proto by se měl výzkum ubírat spíše směrem hledajícím nové technologie vytváření energie. [10]

4. Skleníkový efekt

Atmosféra je plynný obal Země, který sahá od zemského povrchu do výše sta kilometrů. Spodní vrstva atmosféry od povrchu až do výšky 10 km se nazývá troposféra. Troposféra obsahuje většinu vody v atmosféře, a to ve formě kapek, mlhy, oblaků a krystalků ledu. Atmosféra Země je složena ze směsi plynů, z nichž některé mají tu schopnost, že ačkoli jsou propustné pro záření ze Slunce, v momentě kdy toto záření dopadne na povrch Země a odrazí se zpět do kosmu, tyto plyny jej pohltí. Tyto plyny způsobují skleníkový efekt a kvůli této vlastnosti jsou známy jako skleníkové plyny. Skleníkové plyny jsou na Zemi od počátku jejího vzniku, a právě díky jejich schopnosti absorpce dlouhovlnného záření umožnily vznik života. Pokud by na Zemi nebyla atmosféra, tak by Země byla jen zmrzlou planetou bez života. Tento rozdíl je tak způsobován právě atmosférou, která obsahuje plyny způsobující skleníkový efekt, a tím zvyšuje teplotu u spodní části troposféry. [1, 6, 20, 21, 27].

Zemská atmosféra je průchodná pro lidským okem viditelné sluneční záření přicházející z vesmíru. Krátkovlnné záření je záření, které vyzařuje Slunce směrem k Zemi. Dlouhovlnným zářením je záření, které se odrazí od země zpět do vesmíru. Větší část záření odraženého od Země zůstane zachycena v atmosféře, a do vesmíru uniká jen záření vysílané v určitých vlnových délkách. [10] Jev, který umožňuje průchod určitých vlnových délek atmosférou k zemskému povrchu a zpět do kosmu, se nazývá atmosférické okno. Největší množství slunečního záření pohltí povrch Země. Menší množství pohltí atmosféra a zbylé množství se odrazí od mraků a aerosolů ve vzduchu. Z krátkovlnného záření je skleníkovými plyny absorbována jen malá část. Hlavní skleníkové plyny CO_2 a H_2O absorbují dlouhovlnné terestrické záření. O_2 , O_3 absorbují krátkovlnné sluneční záření, a to tak silně, že na Zemi odstraní prakticky veškeré vlnové délky kratší 290 nm. Atmosférickým oknem uniká záření vlnových délek 300 – 800 nm, přičemž 40 % slunečního záření je soustředěno v rozmezí 400 až 700 nm. Skleníkové plyny pohlcují záření ve vlnových délkách shodných se zářením unikajícím atmosférickým oknem, které by bylo jinak uvolňováno zpět do vesmíru. Zemské záření v těchto vlnových délkách dosahuje nejvyšší intenzity. Stále vyšší koncentrace skleníkových plynů snižuje unikání záření do vesmíru, čímž se teplota u zemského povrchu zvyšuje. [1, 2]

Skleníkové plyny byly v atmosféře od počátku jejího vzniku. Povrch planety si udržuje teplotní rovnováhu. Uvažujeme-li poměry v rozsahu několika let, oteplení je vystřídáno ochlazením. Země má na vyrovnání teploty účinné nástroje. Pokud by Země neměla atmosféru, byl by povrch zahříván pouze slunečním zářením. Albedo je poměr odraženého záření k množství dopadajícího záření. Vyjadřuje se v procentech. Albedo Měsíce je 12 %, proto se předpokládá že Země by měla bez atmosféry stejnou hodnotu, protože by byla určena jen radiační bilancí. Průměrná teplota Země bez atmosféry by měla podle výpočtů být $-18\text{ }^\circ\text{C}$. To by znamenalo, že by veškerá voda na Zemi byla ve formě ledu. Ve skutečnosti má Země průměrnou teplotu $15\text{ }^\circ\text{C}$. Skleníkové plyny se v atmosféře objevují trvale, od počátku atmosféry. Účinek skleníkových plynů je naprosto nezbytným předpokladem života na Zemi. Současné zesilování účinku skleníkových plynů však značně zvyšuje teplotu povrchu Země. [1, 27]

Skleníkovými plyny jsou vodní pára (H_2O), metan (CH_4), oxidy dusíku, ozon (O_3) a oxid uhličitý (CO_2), NO_x , freony a další. Tyto plyny vytvářejí skleníkový efekt, protože obsahují nesymetrické molekuly. Rozdělení elektronů je

nerovnovážné, protože v opačných částech molekuly převládají odlišně nabitě náboje. Tento jev se nazývá dipólový moment. Skleníkové plyny jsou ve většině složené ze dvou různých atomů, a proto dokáží absorbovat infračervené záření. Molekuly plynu dokáží vibrovat ve stejných frekvencích jako infračervené záření a zároveň dipólový moment působí na elektrické pole. Čím více plyn dokáže splňovat tyto podmínky, tím je účinnější v pohlcování infračerveného záření. Nejúčinnější skleníkový efekt vykazuje vodní pára, která splňuje obě podmínky, zatímco CO₂, který splňuje první podmínku jen z části, je méně účinný. [1]

Největší podíl na skleníkovém efektu má vodní pára, a to více než 60 %. Koncentrace vodní páry je regulována teplotou. Její obsah v atmosféře se během posledních několika tisíců let neměnil. V současné době však zvýšené emise skleníkových plynů zvyšují teplotu atmosféry, což umožňuje zvýšení objemu vodní páry v atmosféře. Právě na působení vodní páry lze demonstrovat důsledek pozitivní zpětné vazby, kdy se zvýšením teploty zvýší objem vodní páry, což bude mít za důsledek další oteplování. [27] Pokud by však nedocházelo vlivem vodní páry zároveň k ochlazení, byla by průměrná teplota zemského povrchu vyšší než 70 °C. Z povrchu vodní hladiny dochází k výparu přičemž se povrch ochlazuje. Pára se vznáší vzhůru, kde se kondenzací vytváří mraky, kde na kondenzační hladině dochází k uvolňování tepla. [1]

Nezanedbatelný vliv na oteplování mají plyny vytvořené antropogenní činností. Tyto plyny se dříve v atmosféře nevyskytovaly, jejich výrobu zavedl člověk. Nejběžnější a nejznámější z nich jsou freony a halony. Pro jejich vlastnosti jsou nazývány umělé skleníkové plyny. Tyto plyny pohlcují infračervené záření v délkách, ve kterých jinak uniká atmosférickým oknem zpět do vesmíru. Tyto plyny mají účinnost 5000 – 10000krát vyšší než CO₂. [20, 27]

Metan je asi dvacetkrát účinnější plyn než CO₂. V atmosféře se naštěstí vyskytuje jen sporadicky, jeho koncentrace se v poslední době zvyšuje. Jeho zvýšení byť jen o 0,05 ppm by mohlo zvýšit teplotu až o 1 °C. Současná koncentrace je asi 1,7 ppm. Emise metanu vznikají ze 30 % střevní fermentací především skotu, z 15 % spalováním skládek odpadu a biomasy, až 10 % úniky zemního plynu během těžby a dopravy, z 25 % rýžová pole, z 20 % močály a tundra. Metan je v současné době nejvíce obávaným plynem, neboť jeho velké zásoby obsahují hydráty metanu. [27]

Skleníkové plyny se mezi sebou liší především svými radiačními vlastnostmi. Každý plyn pohlcuje jiné délky infračerveného záření. Zároveň se liší dobou setrvání v atmosféře a koncentrací. [12, 27] Mluví-li se o hrozbě globálního oteplování v důsledku zvyšování koncentrace skleníkových plynů, jedná se především o změnu intenzity projevu skleníkového efektu na Zemi. [27] Odezva na zvýšenou koncentraci skleníkových plynů se projevuje změnou oceánského a atmosférického proudění. Zároveň akumulace skleníkových plynů v oceánech může spustit kladné zpětné vazby, v jejichž důsledku může dojít ke značnému oteplení. Zvyšování teploty se projeví se zpožděním, může se tedy projevit až po několika letech či desetiletích. [1] Skleníkové plyny ohřívají především dolní část troposféry. Ozon pohlcuje ultrafialové záření pocházející ze slunečního záření, a ohřívá horní vrstvy stratosféry. V současné době tak dochází jak k ochlazení stratosféry následkem ozónové díry, tak následkem emisí skleníkových plynů k oteplování troposféry. [5]

5. Koncentrace CO₂ v minulosti

Chceme-li pochopit procesy odehrávající se v klimatickém systému a současné klimatické změny, musíme nejprve analyzovat data, která vypovídají o klimatu v minulosti. Obor klimatologie zkoumající klima v minulosti se nazývá paleoklimatologie. Paleoklimatologie zkoumá klima v dávných dobách, kdy ještě neexistovala meteorologická měření. Meteorologická měření jsou ve většině zemí stará dvě až tři staletí. Nejstarší stanice na našem území je Klementinum. Měření zde probíhá od roku 1775, a promítá souvislou řadu měření teploty vzduchu. Dalším zdrojem informací vypovídajících o počasí jsou zápisy v kronikách. Jejich shromažďování a analyzování je velmi náročné, a data nejsou úplná, nicméně nám společně s dendrologickými údaji odvozenými z letokruhů stromů dokáží poskytnout údaje za posledních tisíc let. Tyto záznamy jsou jak časově, tak prostorově nespojité. Ani v současné době síť přímých meteorologických měření není po celé planetě stejně velká. Především v chudých zemích se pravidelná měření provádějí v malém rozsahu oproti zemím vyspělým. V důsledku toho není zjištění globální teploty snadné. Nyní se používají i družicová měření, které napomáhají tuto síť doplnit. [12, 20]

5.1. Paleoklimatické záznamy

Údaje o klimatu za delší časové období nám poskytují paleoklimatické záznamy, neboli proxy data. Paleoklimatologie získává své poznatky z měření z vrtů v ledovcích, kde zjišťuje koncentrace izotopů vodíku, kyslíku a berylia, indikátoru sluneční aktivity, dále z rozborů šířky a charakteristik letokruhů stromů, z chemického složení korálů, z palynologie, což jsou pylové analýzy, ze sedimentů na březích a dnech jezer, ze složení a růstu stalagmitů v jeskyních, z velikostí lišejníků, ze složení vrstev půdy a fosilií, především ze schránek živočichů a fosilních zbytků fauny a flóry. Paleoklimatické údaje jsou rozloženy geograficky velmi nerovnoměrně. Informace získané jednou metodou musí být potvrzeny a doplněny informacemi z dalších metod a míst. [20]

Kolísání teploty mořské vody lze odvodit z poměru O₁₈/O₁₆ uchovaného ve schránkách mořských živočichů, korálových útesů, vápencových útesů, ložisek bohatých na minerály apod. O teplém a vlhkém klimatu svědčí vznik uhelných pánví. V suchém klimatu vznikala ložiska solí. Chladné klima je typické přítomností ledovcových usazenin, rýhování skalního podkladu vytvořeném pohybem ledovce, morény apod.

5.1.1. Ledovcové vrty

Jeden z nejpřesnějších způsobů zjištění klimatu umožnili analýzy ledu ze vzorků odebíraných ledovcovými vrty. Obsah O₁₈ a deuteria v atmosféře závisí na teplotě, toto množství je uloženo v každé vrstvičce ledu, což umožňuje poznat teplotu.

Největším problémem je zjišťování stáří jednotlivých vrstviček ledovců. Vzorky se odebírají z vrtu postupně od povrchu do hloubky. Jádrovým vrtem se odebere dlouhý válec ledu, který je složen z vrstviček různého zabarvení a tvaru ledu. Každá vrstvička znamená jeden rok, každý rok tedy začíná v zimě slabou vrstvičkou chudou na izotopy, a v létě silnější vrstvou na izotopy bohatší. Na jižní

polokouli, kde je v lednu léto, proto je zde sled vrstviček od začátku roku obrácený. Ve vrchních částech ledovců je tato vrstevnatost dobře patrná pouhým okem, ve spodních částech je však kvůli vysokému tlaku nadloží rozeznatelná jen nepatrně. Do největší hloubky vrtu se dostala polární stanice Vostok na Antarktidě a poté Evropský projekt Epica také v Antarktidě. Odebírání vzorku z vrtu ve Vostoku bylo zastaveno v roce 1992, protože se vrt příliš přiblížil k jezeru Vostok, které je pod ledovcem ukryto. Vrtanou technikou by mohlo dojít ke kontaminaci tohoto doposud netknutého jezera. Stáří vzorků ze dna vrtu odpovídalo asi 420 000 let. Na stanici Epica dosáhl vrt roku 2005 stáří 740 000 let. Oba vrty po rozbořech obsahovaly přibližně stejné informace. Z ledovcových vrtů byla, pomocí koncentrace izotopů zakonzervované v každé vrstvičce ledu, získána data o teplotě. Jako jeden z indikátorů změn teploty se zjišťuje obsah skleníkových plynů CO₂ a CH₄.

5.1.2. Radiokarbonová metoda

Radiokarbonová metoda se používá pro určení stáří. V okamžiku odumření rostliny nebo živočicha, ustávají metabolické funkce spojené s příjmem uhlíku. Protože je tento uhlík nestabilní dochází k jeho postupnému rozpadu. Po uplynutí 5568 let od ukončení příjmu uhlíku se rozpadne polovina C, této době tedy říkáme poločas rozpadu. Za dalších 5568 let se zbylá polovina uhlíku opět rozpadne o další polovinu a poté znovu o další a tak dále dokud se zcela nevytratí. K tomu dochází většinou až po 40 000 – 50 000 letech. Touto metodou poločasu rozpadu uhlíku lze určit stáří rostliny nebo živočicha. Není ji však možné použít přibližně v posledních sto padesáti letech. A to především kvůli spalování fosilních paliv způsobených průmyslovou revolucí, protože v jeho důsledku je do atmosféry vypouštěn geologicky starý uhlík, který tuto metodu znehodnocuje. Pokud potřebujeme zjistit například stáří hornin zasahující více do minulosti, používáme pro geologické datování radioizotopy s delším poločasem rozpadu, například izotopy draslíku a argonu.

5.1.3. Pylová analýza

Palynologie, neboli věda o pylových analýzách, nám přináší údaje o klimatu a jeho vlivu na vegetaci.

5.1.4. Letokruhy stromů

Další poznatky o místním klimatu můžeme určit z letokruhů stromů. Místní klima se totiž může od celkového klimatu lišit. Podle počtu letokruhů v kmenu stromu se určuje jeho stáří. Světlejší a tlustší část letokruhu vznikla na jaře, kdy strom rychle roste, a tenká tmavší část vzniká koncem léta, kdy se růst kmenu stromu zastavuje. Klima určujeme podle šířek letokruhů. Pokud je v daném roce vysoká teplota a dostatečná vlhkost, je letokruh široký. Naopak pokud jsou teploty a vlhkost nízké jsou letokruhy úzké. [12, 20]

5.2. Vývoj klimatu Země v souvislosti s koncentrací CO₂

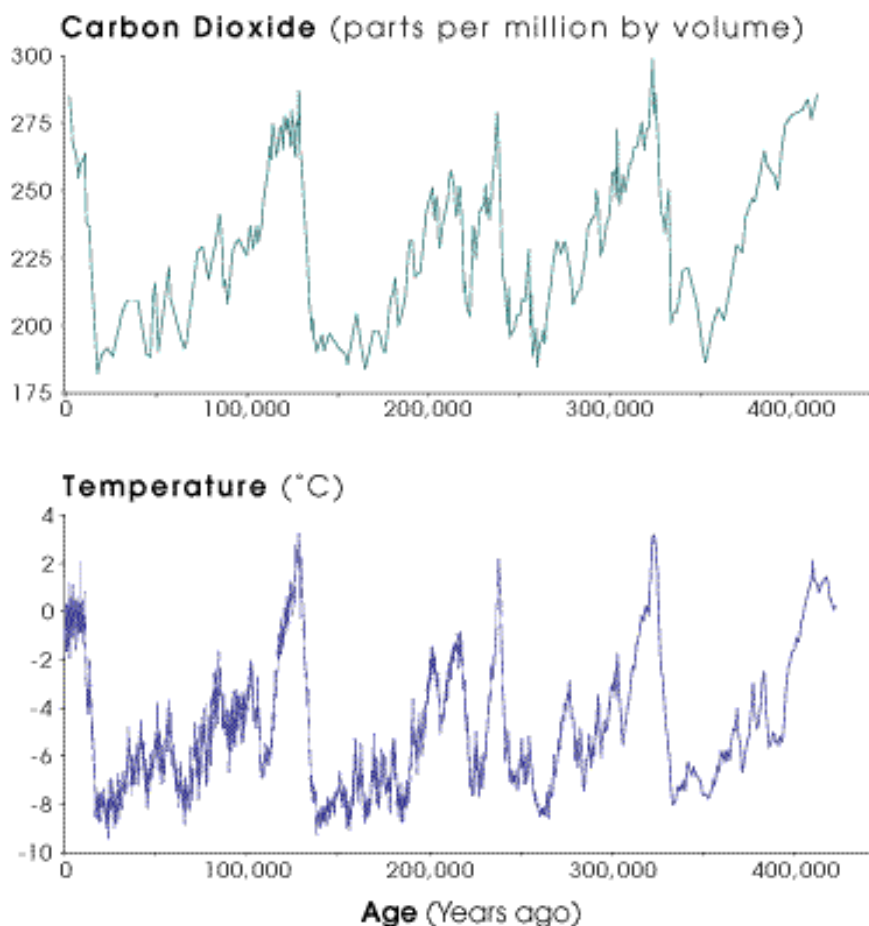
Asi před třemi miliardami let vznikly první jednoduché prokaryotní jednobuněčné organismy. Tyto organismy byly závislé na přísunu organických molekul ze svého okolí bez využití kyslíku. Asi před dvěma miliardami let vznikly první autotrofní organismy, které produkovaly organické látky a energii na základě fotosyntézy. Proces fotosyntézy využívá energii ze slunečního záření a přeměňuje CO₂ na molekuly organických sloučenin. Ty slouží jako stavební materiál buněčného těla organismů a jako zásoba energie. V průběhu vývoje převzaly dominantní postavení sinice, které využívaly pro stavbu svého těla neomezené zásoby vody v oceánech, při kterém se jako vedlejší produkt uvolňoval kyslík. Uvolňováním kyslíku do atmosféry se zvýšila jeho koncentrace asi na (0,2 – 2 % objemu), což napomohlo mikroorganismům získávat energii stále lepšími respiračními pochody. Další obohacování atmosféry kyslíku vedlo k rozvoji heterotrofních organismů, jejichž fotosyntéza pomohla zvýšit množství kyslíku na současný stav. Vyšší koncentrace kyslíku mimo jiné napomohla vzniku ozónové vrstvy, která umožnila živým organismům přežít na souši. Před 4 miliardami let byla atmosféra složena převážně z dusíku, oxidu uhličitého a dalších příměsí. Kyslík se v té době vyskytoval v atmosféře jen ve stopovém množství. Biologické procesy ovlivnily složení atmosféry natolik, že se kyslík stal se svou koncentrací cca 21% objemu jednou z hlavních složek atmosféry. Koncentrace oxidu uhličitého se snížila natolik, že v předindustriální době měla hodnotu 2,8 . 10⁻² % objemu. [2]

Výskyt dob ledových a meziledových lze datovat již do proterozoika před 2,7 – 0,57 miliardy let. Pozůstatky ledovcové činnosti byly nalezeny na všech kontinentech. Během mladšího ordoviku a siluru jsou známky tehdejšího zalednění patrné v dnešní severní Africe a Arabském poloostrově. Tehdy se zde nejspíš vyskytoval polární ledovcový štít. Naopak devon byl jedním z nejteplejších období Země. Konec karbonu a během permu se opět vyskytl rozsáhlý jižní ledovcový štít a to na území dnešní střední Afriky, Indie a Austrálie. Zatímco na severní polokouli panovalo teplé a suché klima, doložené vznikem solných slojí. Teplé období druhohor přispělo i k opětovnému ústupu ledovcových štítů, například v Antarktidě byla bohatá vegetace. Během třetihor se začíná postupně ochlazovat. V oligocénu začínou na Antarktidě vznikat ledovce, které s jeho koncem dosáhnou oceánu. Tyto ledovcové štíty jsou staré asi 28 milionů let během nichž nikdy nedošlo k jejich roztátí. Před 9 miliony lety začaly vznikat pevninské ledovce, nejprve na Aljašce, poté se rozšířily v Grónsku a pokryly celou Arktidu. Severní ledový oceán se pokryl ledem teprve před 700 000 lety. Klima glaciálů a interglaciálů není monotónní, ale objevují se teplejší či naopak chladnější období, trvající stovky až tisíce let. Klima interglaciálů bylo podobné dnešnímu klimatu. Teploty v teplejších obdobích interglaciálů byly pravděpodobně o několik stupňů vyšší oproti dnešním. [10, 20]

V interglaciálu se pravidelně zvyšuje koncentrace CO₂ v atmosféře. Není jisté zda koncentrace byla zvyšována kvůli nástupu interglaciálů nebo zda interglaciál nastoupil po zvýšení koncentrace CO₂ v atmosféře. Geologové však nesouhlasí s hypotézou, že by nástup interglaciálu způsobil zvýšení koncentrace skleníkových plynů v atmosféře, protože nemáme žádné geologické vysvětlení k periodickému uvolňování skleníkových plynů každých sto tisíc let z neznámých zdrojů. Pravděpodobně jde tedy o proces, kdy se v důsledku oteplování uvolňují skleníkové plyny ze známých zdrojů. Během glaciálu plyny nemohly unikát rozkladem organické hmoty, protože biologické a mikrobiální procesy byly buď znemožněny pod příkrovem ledu, nebo byly v suchém a chladném prostředí

omezeny na minimum. Naproti tomu v oceánech došlo k biologickému oživení, neboť kvůli úhynu vegetace vznikaly pouště, z nichž byl písek společně s minerálními látkami zanesen nad oceán. Zvýšení skleníkových plynů v důsledku oteplování, tak může aktivovat pozitivní zpětné vazby, které způsobují další zvyšování teploty. Při přechodu z interglaciálu do glaciálu je naopak snížení koncentrace skleníkových plynů způsobeno tím, že se sníží únik z hlavních zdrojů. CO₂ přestává unikat z oceánu, protože se rozšiřuje ledový pokryv oceánu. Z půdy se únik CO₂ snížil kvůli omezení činnosti půdních organismů a zastavení rozkladu odumřelé hmoty. [12] Podle rozborů z ledovcových vrtů vyplývá, že po nástupu oteplení se zvýšila koncentrace CO₂ o 80 až 100 ppm až zhruba 600 let po oteplení. Po nástupu glaciálu a s ním spojených nízkých teplot se snížení koncentrace projevilo v časovém posunu až několik tisíc let. Ačkoli je to z geologického hlediska velmi krátká doba, z časového posunu vyplývá, že nárůst koncentrace je pravděpodobně důsledek oteplování. [39]

Graf 6. Závislost teploty a koncentrace CO₂ z datových záznamů získaných v Antarktidě v období před 400 000 lety po současnost



Zdroj: <http://earthobservatory.nasa.gov>

Střídání dob ledových a meziledových pravděpodobně způsobují Milankovičovy cykly. Tyto cykly způsobují klimatické změny v důsledku tří periodicky se opakujících změn parametrů oběžné dráhy Země kolem Slunce. Země po své dráze kolem Slunce opisuje elipsu, jejíž tvar se mění s periodicitou 92 000 let. Tento cyklus označujeme jako změnu výstřednosti (excentricity) eliptické dráhy Země. V současnosti je excentricita nízká, takže dráha je téměř kruhová. Se vzrůstající excentricitou se snižuje intenzita slunečního záření dopadajícího na Zemi. Druhý cyklus týkající se sklonu zemské osy trvá 42 000 let. Tento cyklus určuje na kterou část zemského povrchu dopadne nejvíce záření. Třetí cyklus trvá 22 000 let. Jedná se o kolísání (precesi) zemské osy. Tato změna sklonu osy ovlivňuje intenzitu ročních období. Milankovičovy cykly mohou způsobit dobu ledovou, a to v případě, že se pevniny nachází v blízkosti pólů. [5, 12]

Současný interglaciál se nazývá holocén, a začal zhruba před 11 500 lety. Poslední doba ledová se nazývá würm. V té době pokrývaly obrovské masy ledu téměř celou severní Ameriku, a ledovec zasahoval až do střední Evropy. Teplota ve střední Evropě byla o 10 °C nižší než je současná průměrná teplota. Hladina moří byla o 120 metrů níže než je současná hladina. I během této doby docházelo často k velmi rychlým teplotním změnám, kdy se vyskytovala teplejší období s mírnějším klimatem nazývaná interstadiály. Teplota se na několik desetiletí zvýšila až o 7 °C. Tato období se střídala ještě s chladnějšími obdobími několikrát za sebou, až se vrátila ke glaciálním podmínkám. Poslední době ledové předcházela interglaciál eem, během něhož byly průměrné teploty ve střední Evropě vyšší o 2 °C oproti současným teplotám. Hladina moří byla výše o 2 až 6 metrů nad současnou úrovní.

Klima holocénu není monotónní, ačkoli koncentrace CO₂ byla do počátku průmyslové revoluce neměnná. V průběhu holocénu vznikaly klimatické rozdíly, které měly za následek oteplení nebo naopak ochlazení. [12] Oteplování nastalo zhruba před 13 000 lety, kdy ledovcové štíty začaly ustupovat. V období před 11 500 let se teploty náhle zvýšily, a to na území Grónska až o 7 °C během pár desetiletí. Tyto změny byly nejspíš posíleny změnami atmosférické cirkulace a srážkového režimu. Nejteplejším obdobím holocénu bylo tzv. „Klimatické optimum“ před 6000 – 4000 lety. Tehdejší teploty byly vyšší než jsou současné průměrné teploty.

Za poslední přibližně dva tisíce let se na základě paleoklimatických proxy dat uvádějí čtyři klimatické oscilace. Výsledky proxy dat se neustále zpřesňují proto letopočty nemusí přesně souhlasit. V rozmezí let 300 – 200 let před naším letopočtem byla tzv. „Římská teplá perioda“. Toto období mělo vyšší teploty než je současná průměrná teplota. Z dokumentací dokonce vyplývá že Římané po příchodu do Anglie zde úspěšně pěstovali vinnou révu. Kolem roku 600 našeho letopočtu nastalo snížení teplot oproti současným průměrným teplotám. Klima se náhle zhoršilo, o čemž svědčí nárůst Alpských ledovců. Toto období je označováno jako „Chladná perioda temného věku“. V rozmezí let 850 – 1150 našeho letopočtu nastupuje „Středověká teplá perioda“. Její nástup se však regionálně liší. Podle dobových záznamů víme, že se v Evropě pěstovaly teplomilné rostliny na místech, kde to dnes není možné. Ve střední Evropě se pěstovaly melouny a v Porýní rostly fíkovníky. Klima tohoto období bylo relativně stabilní. Mezi 11. – 12. stoletím byla průměrná teplota zhruba o 1 °C vyšší než dnes. Teplé klima pomohlo Vikingům plout až do Ameriky a osídlit Grónsko. V 10. – 13. století byly v Africe mnohem vyšší srážky. Rokem 1350 se datuje nástup „Malé doby ledové“. Tato doba je také charakterizována značnými klimatickými výkyvy. „Malá doba ledová“ trvala od 16. do 19. století. V tomto období se střídala období chladnější s teplejšími.

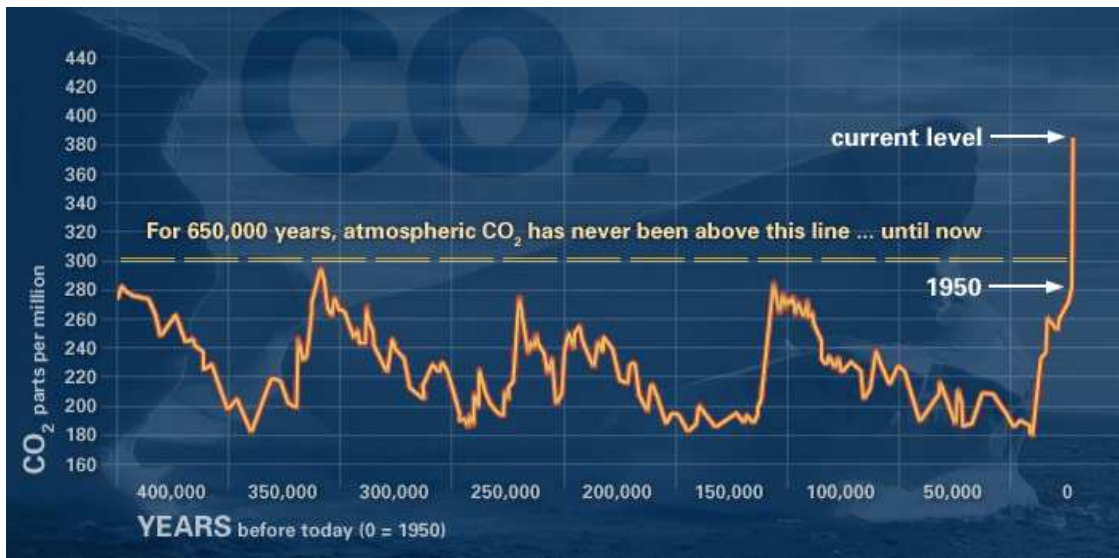
Nejchladnější období bylo v letech 1570 – 1730, a to zejména roky 1600 – 1609. Poté byl chladný počátek 19.století. Počátek 16. a 18. byl naopak teplejší. [12, 20]

V současné době se nejvíce diskutuje o „teplém období středověku“ mezi 9. – 14. století a „Malé době ledové“ v 16. – 19. století našeho letopočtu. Tato období jsou porovnávána se současným oteplením a o jejich působení se mluví v globálním měřítku. Je však třeba poukázat na to, že na takové tvrzení není dostatek důkazů. Silné oteplení na jednom kontinentu nemuselo znamenat zásadní oteplení jiných kontinentů. Stejně tak změny klimatu probíhají rozdílně mezi zeměpisnými šířkami. Údaje o teplém klimatu na všech kontinentech se časově rozcházejí. Zatímco na severní polokouli je vše zaznamenáno, především na jižní polokouli se potýkáme s nedostatkem dat. Údaje o teplotách jsou časově i geograficky roztržité, proto nelze s přesností říct zda teplota rostla globálně, tudíž nelze posoudit zda se současné oteplení podobá tomu středověkému. [4] Podle některých vědců bylo globální klima té doby chladnější než dnes, ale kvůli různým vnějším vlivům panovalo v Evropě klimatické optimum, zatímco na druhé polokouli bylo klima chladnější. I dnes kdy už víme že se průměrná teplota zvyšuje, v některých místech planety se teplota naopak snižuje. [5]

Jiní autoři však uvádí, že klimatické oscilace „Malé doby ledové“ a „Středověké teplé periody“ byly pozorovány i v Antarktidě a mohly tak mít globální dopad. [28] Koncentrace skleníkových plynů byla v minulosti poměrně stálá, není tedy jisté co způsobilo „Středověkou teplou periodu“ v letech 1100 – 1300 a „Malou dobou ledovou“ v letech 1400 – 1850, změnu koncentrace skleníkových plynů lze však vyloučit. [12]

V dávné geologické minulosti se koncentrace skleníkových plynů různě lišily. Před 500 miliony lety byla koncentrace CO₂ dvacetkrát vyšší. Od té doby se jeho koncentrace snižovala, docházelo však k různým výkyvům. [12] Tyto klimatické anomálie lze pozorovat během celé historie Země. V současné době je pro nás důležité studium anomálie, k níž došlo před 55 miliony let. Tehdy teplota zemského povrchu prudce stoupla o 5 až 10 °C. Tuto klimatickou anomálii objevili vědci roku 2003 při Oceánském vrtném programu. Tato klimatická anomálie způsobila hromadné vymírání, které vědci přisuzují okyselení oceánu. Tento jev vznikl při velké absorpci CO₂ oceánem. K úniku velkého množství CO₂ a došlo pravděpodobně kvůli výronu zemního plynu. Kvůli rychlosti s jakou se složení atmosféry změnilo, se živočichové nedokázali adaptovat a rychle hynuli. K podobným následkům by mohlo dojít i v budoucnu, proto je pro nás studium této anomálie velmi důležité. [5] Uhlík nashromážděný ve fosilních palivech za miliony let je náhle v průběhu 250 let v důsledku lidské činnosti uvolňován do ovzduší jako plyn CO₂. V historii Země je 250 let velmi krátká doba na to, aby se obsah uhlíku zvýšil takovým tempem jako to lze vidět dnes. Biosféra se takové změně nemusí umět přizpůsobit, vzhledem k tomu že se utvářela tisíce až miliony let. Scénáře dopadu klimatických změn tak lze hledat právě v minulosti. [12]

Graf 7. Koncentrace CO₂ v minulosti až po současnost



Tento graf, na základě porovnání vzorků ovzduší obsažených v ledu a novější přímých měření, poskytuje důkaz, že se koncentrace CO₂ v atmosféře zvýšila od dob průmyslové revoluce.

Zdroj: <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/icecore.html>

6. Dnešní koncentrace a souvislosti se změnou klimatu

6.1. Klimatický systém Země

Klima naší planety je složitým systémem. Klima se skládá z pěti hlavních subsystémů, a to z atmosféry, biosféry, světového oceánu, kryosféry a litosféry. Mezi procesy probíhající v klimatickém systému patří vzájemná složitá propojení jednotlivých subsystémů. Mezi hlavními složkami klimatického systému se neustále vyměňuje hmota a energie. Tyto výměny probíhají zároveň uvnitř vlastních subsystémů.

Anomálie vzniklé v jednom subsystému mohou způsobit určitou poruchu, která bude zesilována kladnými zpětnými vazbami nebo naopak zeslabována zápornými zpětnými vazbami. Kladné zpětné vazby podporují nestabilitu klimatického systému, zatímco záporné zpětné vazby stabilitu systému zvyšují. Každá složka klimatického systému má vliv na celkovou klimatickou rovnováhu. Právě proto může i malý zásah do dílčího subsystému mít za následek globální změnu v důsledku řetězové reakce kladných zpětných vazeb.

Atmosféra na teplotní změny reaguje nejrychleji ze všech subsystémů klimatického systému. Má nízkou hustotu, což způsobuje její malou tepelnou kapacitu. Na změny způsobené vnějšími silami nebo přenosy energie a hmoty mezi svými subsystémy reaguje rychlou reakcí a postupnými změnami klimatu.

Oceán má na změny delší odezvu, protože má vyšší hustotu, reaguje na oteplování mnohem pomaleji. Teplota vody v hlubinách oceánu je výsledkem tepelné výměny před tisíci lety. Termická odezva oceánu v horních sto metrech se projevuje o desetiletí pomaleji než změny v atmosféře. Teplota hladiny oceánu ovlivňuje přímo i teplotu troposféry a naopak. Proto atmosféru a oceán musíme chápat jako jeden systém, oteplí-li se jeden systém postupem času se oteplí i druhý.

Dalším subsystémem klimatického systému je kryosféra. Kryosféra obsahuje veškerý permafrost. Velké ledovce mají dlouhodobou termickou odezvu, odhaduje se, že až několik tisíciletí. Pokud by však ledová vrstva úplně roztála, vyvolalo by to značné zvýšení mořské hladiny. V případě roztátí ledové pokrývky Grónska by se hladina moří mohla zvednout až o 8 metrů, v případě Antarktidy až o 60 metrů. Ledovcové štíty Grónska a Antarktidy mohou teplotním změnám odolávat až tisíce nebo miliony let.

Biosféra má vliv na vodní cyklus, který ovlivňuje odpařováním vody. Dále ovlivňuje odražení světla od zemského povrchu, a to odlišnou hustotou a rozdílnými druhy vegetace. Teplota půdy pokrytá vegetací má menší teplotní výkyvy, než půda bez vegetace. Biosféra se podílí na chemickém cyklu a geologickém cyklu skleníkových plynů.

Litosféra ovlivňuje klima svou povrchovou vrstvou, například sopečnou činností a posunem litosférických desek, způsobujících zemětřesení.

Celý klimatický systém tvořený klimatickými subsystémy je provázán, každá ze složek je v trvalé součinnosti s ostatními. Budeme-li tedy nadále oteplovat atmosféru, časem se tato změna projeví i v ostatních subsystémech. Klimatický systém nedosahuje trvalé rovnováhy, neustále se nachází v nerovnováze, která je způsobena rozdílnou dobou trvání reakce na poruchy tepelné rovnováhy. V současné době lze již některé změny pozorovat. [20]

6.2. Faktory ovlivňující klima

Změny klimatu se vyskytovaly již od samého počátku Země. Klima se může měnit v důsledku faktorů, z nichž některé mohou mít původ mimo naši planetu, zatímco zbylé mohou být způsobeny vlastní dynamikou vnitřního klimatického systému.

Mezi příčiny vzniklé mimo Zemi lze zmínit Milankovičovy cykly, změny sluneční aktivity, sluneční prach či pád meteoritu. Milankovičovy cykly ovlivňují klima změnou pozice Země vzhledem ke Slunci, zatímco sluneční aktivita vykazuje cykly během kterých se mění intenzita záření. Cykly mají různé trvání, a jedná se o výskyt slunečních skvrn nebo střídání magnetické polarity. Pokud je Slunce magneticky aktivnější, objevuje se na Zemi teplé klima. Tyto změny měly v minulosti na klima velký vliv. Klima se měnilo ačkoli koncentrace skleníkových plynů zůstala stejná.

Klimatovnými činiteli pozemského původu jsou sopečné aktivity, změna salinity oceánů či oceánského proudění nebo složení atmosféry. V současné době lze vedle přirozených změn klimatu připojit i oteplování způsobené antropogenní činností. Na vytváření klimatu se spolupodílí celá řada faktorů, z nichž některé nejsou v současnosti zcela objasněny. Doposud tak není jisté jak velké změny způsobené antropogenní činností nastanou. [20]

6.3. Vliv lidské činnosti na globální změnu klimatu

Globální změna klimatu je dnes již pozorována v celosvětovém měřítku. V budoucnu by mohlo dojít k narušení rovnováhy klimatického systému, ohrožení lidské civilizace a živé přírody již během příštích desítek až stovek let. Nelze pochybovat, že tyto změny již probíhají. Světová věda se shodla, že zásadní vliv na tyto změny má člověk. Lidské aktivity jsou za toto oteplování odpovědné z 90 %. Člověk mění charakter zemského povrchu kácením lesů, intenzivní zemědělskou činností, budováním sídlišť či vodních staveb. Zároveň však v důsledku využívání fosilních paliv pro energetické účely mění složení atmosféry.

Činnost člověka uvolňuje do atmosféry značné množství tepla, roste koncentrace skleníkových plynů a to především CO_2 . Zvyšování koncentrace skleníkových plynů vede ke zvyšování teploty povrchu Země, k tzv. globálnímu oteplování. Největší podíl a to až z 50 % mají na těchto změnách právě emise CO_2 . V atmosféře stoupají emise i dalších skleníkových plynů, lze se právem obávat, že v budoucnu by mohl být zejména metan více závažným problémem než CO_2 . V současnosti vliv emisí CO_2 ovlivňuje klima nepřímo, a to právě v důsledku klimatických změn.

Většina klimatologů a vědců zabývajících se touto problematikou se shoduje, že je globální oteplování prokázané. Přesto je zde i nadále mnoho klimatických odpůrců, kteří globálního oteplování způsobené lidskou činností odmítají. [1, 9, 20]

Za největší zdroj CO_2 vytvořený antropogenní činností lze považovat produkci energie, a to 37,5 % celosvětových emisí. V současné době tvoří při výrobě elektřiny nejvyšší podíl uhlí a to 38 %. Obnovitelné zdroje tvoří asi 20 % výroby a to především díky vodním elektrárnám, 17 % tvoří jaderné elektrárny, 16 % zemní plyn, 9 % ropa. [27] V roce 2002 se spalováním fosilních paliv uvolnilo

do atmosféry 21 miliard tun CO₂. Z tohoto množství 41% pochází z uhlí, 39 % z ropy a 20 % z plynu.

Energie, kterou spalováním uvolňujeme pochází z vodíku a uhlíku. Paliva však neobsahují stejné množství uhlíku. Problémem je, čím více uhlíku palivo obsahuje, tím vzniká více CO₂. Nejvyšší uhlík je tvořeno téměř čistým uhlíkem. Paliva vyrobená z ropy mají uhlíku méně. Ropa má totiž jen jeden atom uhlíku na dva atomy vodíku, z části paliva vznikne tedy mimo jiné i voda. Nejméně uhlíku obsahuje plyn, problémem u plynu je jeho únik. Oproti uhlí a ropě je však k prostředí nejšetrnější. [5] Pokud by se k výrobě energie začala využívat ropa a plyn, mělo by to za následek nižší emise CO₂, ačkoli by vyprodukovaly stejné množství energie jako uhlí.

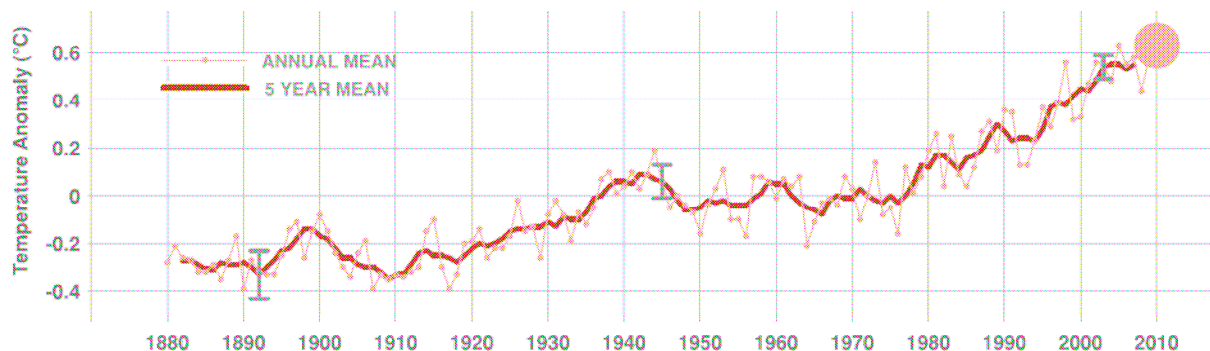
Jedním z hlavních úkolů současného technologického výzkumu je právě zvýšení účinnosti využití fosilních paliv. Zásoby fosilních paliv vydrží ještě desetiletí. Do jejich zpracování byla investována spousta peněz. Jejich těžba, transport, zpracování a využití jsou technologicky zvládnuty. V současné době tak nelze předpokládat, že by lidstvo v rámci snížení koncentrace CO₂, omezilo svůj ekonomický a hospodářský růst. [27]

6.4. Klimatické změny

6.4.1. Teplota

V posledních desetiletích lze pozorovat statisticky doložitelné změny klimatu. Globální roční průměr teploty vzduchu při zemském povrchu se zvýšil za posledních 100 let o 0,74 +/- 0,18 °C. Stejně výkyvy teploty se projevily na severní i jižní polokouli. Za posledních 50 let se zvyšuje noční teplota rychleji než teplota denní. V současnosti lze pozorovat i další jevy doprovázející globální oteplování jako tání ledovců a zvýšení teploty a následně i hladiny moří. Od roku 1960 – 2000 je patrný růst teplot i na území České republiky. Rozbory teplotních údajů prokázaly, že největší oteplení je patrné v zimě. Je třeba poukázat na nárůst minimálních a maximálních teplot, a to především v zimním období. Na podzim se naopak projevuje mírný teplotní pokles. Celkově se u nás trend zvyšování průměrné teploty zesiluje. [1, 2, 27]

Graf 8. Globální povrchové teploty v období 1880 - 2010



Tenkou čarou jsou zaznamenány průměrné roční teploty, silnou červenou čarou je znázorněna průměrná teplota.

Zdroj: www.nasa.gov

6.4.2. Tání ledovců, zvýšení hladiny oceánu a narušení oceánské cirkulace

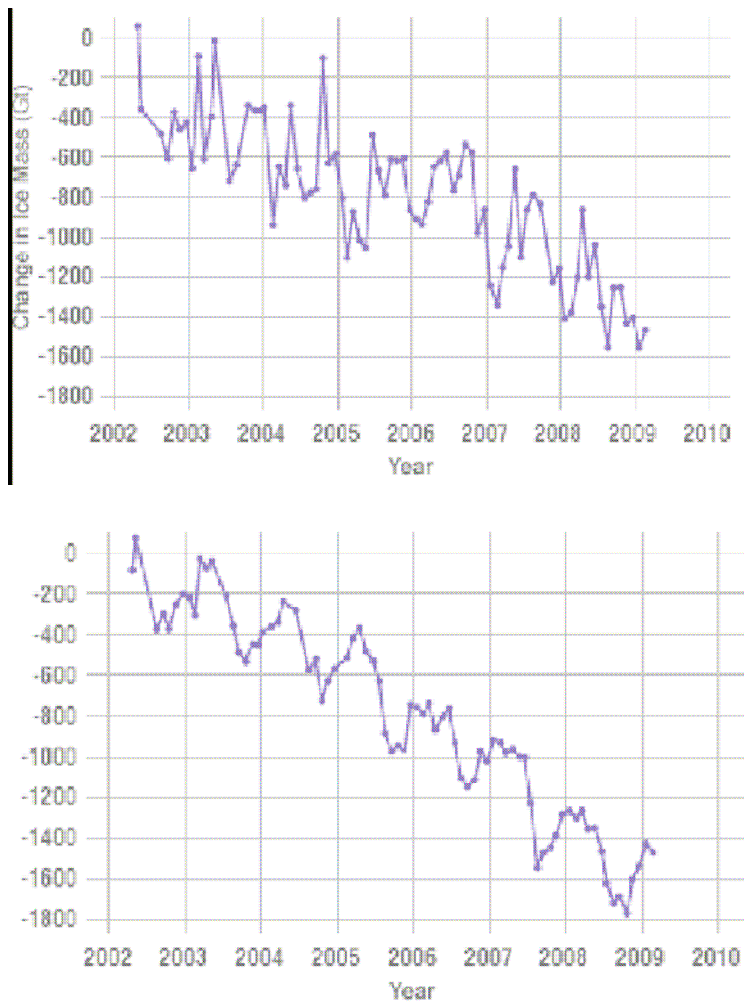
Asi jedna desetina zemského povrchu je pokryta ledovci. Ledovce v současné době zadržují asi tři čtvrtiny zásob veškeré sladké vody. Pokud by veškeré ledovce roztály zvýšila by se hladina moří až o 80 metrů, moře by tak zalilo značnou část současné pevniny. Vznik ledovců byl způsoben nahromaděním mnoha vrstev sněhové pokrývky, která se časem za působení vlastní tíhy přeměnila v led. Největší ledovce jsou ledovce kontinentální, neboť pokrývají značnou část pevniny. Nejsilnější jsou ve svém středu, obklopené šelfovými okraji.

Ústup horských ledovců je považován za nepřímý důkaz globálního oteplování. V průběhu holocénu docházelo ke značným teplotním výkyvům. Během těchto period horské ledovce buď rostly nebo ustupovaly a to na základě teplot, které tyto periody vykazovaly. Koncentrace CO₂ v atmosféře byla totiž od nástupu holocénu neměnná, a to o 100 ppm nižší než je koncentrace současná. [12] Ústup ledovců se projevuje se zpožděním několika desetiletí. Největší pokles způsobený táním je patrný především u vysokohorských ledovců. Od roku 1850 je pozorován ústup ledovců a to až o jednu třetinu a zmenšení jejich objemu o necelou polovinu. Vliv na jejich ústup má mimo zvýšenou teplotu také změna srážek a oblačnosti. [20] Jen od počátku pozorování horských ledovců ze satelitů, byl zjištěn úbytek horských ledovců až o 10 %, zároveň byl zpozorován úbytek zasněžených povrchů vůbec. Tento jev byl nejvíce pozorován právě na severní polokouli.[1] V horách ubývá nejvíce sněhové pokrývky především v nižších polohách. Dochází ke zkrácení průměrné doby po kterou zamrzají vodní plochy. Na severní polokouli se snížila rozloha sezónně zasněžené plochy a to nejvíce na jaře. [2]

Na Antarktidě lze pozorovat ústup ledovce, patrně vlivem zvýšení teplot až o 5 °C. Namísto šelfových ledovců je zde rozprostřena hladina moře. Z šelfových ledovců jsou odlamovány kry o velikostech několik stovek km². Tyto kry jsou oceánskými proudy odneseny do teplejších vod, kde tají. Stejně tak lze pozorovat úbytek ledovcového příkrovu v Grónsku a Aljašce. Ačkoli se urychluje tání okraje ledovcového štítu pevninských ledovců, dochází k akumulaci ve vnitrozemí. A to jak u Grónského ledovce, tak u Antarktického ledovce. Tento jev je nejspíš způsoben ozonovou dírou nebo zvýšením koncentrace vodní páry ve vzduchu. Tento jev by mohl mít pozitivní účinek na snižování mořské hladiny. Dosavadní pozorování jsou však nedostatečná, proto nelze s jistotou říci zda tomu tak opravdu je. Předpokládá se totiž, že nárůst ledu by mohl být jen dočasný. [9, 20]

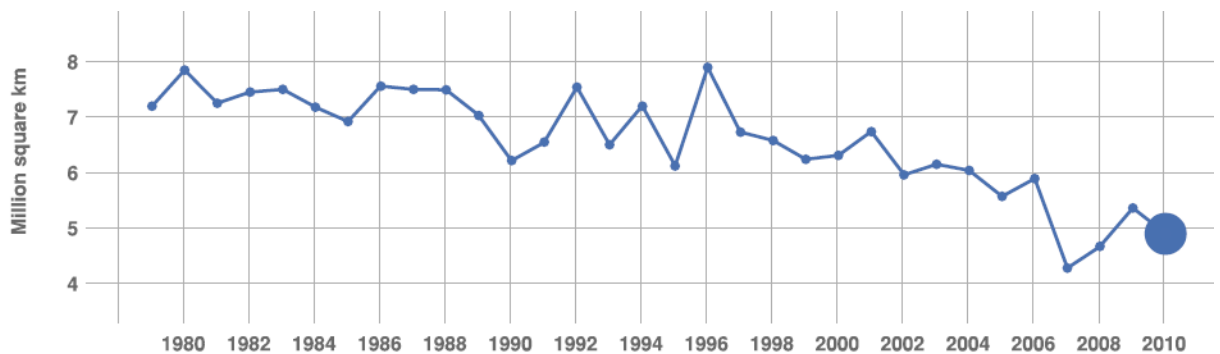
Hladinu vody může zvýšit v nejvyšší míře pevninský ledovec. Oproti tomu nemá na zvýšení mořské hladiny arktická ledová vrstva na severní polokouli téměř žádný vliv. Arktický led pokrývá Severní ledový oceán. Od roku 1979 se její rozsah v letních obdobích snížil o 20 % a zbývající led se ztenčil. Tání ledu však nemá na stoupající hladinu oceánu vliv, protože led v sobě váže mořskou vodu a je z devíti desetin ponořen pod hladinou. Po jeho roztání se tak do vody dostane stejný objem vody, jaký dříve zabíral ledovec. Ačkoli roztání Arktického ledovce nemá přímý vliv, jeho nepřímý dopad způsobí další oteplování díky změně albeda Země. Jedna třetina slunečních paprsků se odráží zpět do vesmíru, z čehož největší podíl na odrazu slunečního záření má právě led. Led na obou pólech odráží do vesmíru 90 % slunečního záření. Oproti tomu voda odráží zpět pět až deset procent světla. Takže pokud v důsledku globálního oteplování roztaje mořský led, atmosféra odrazí méně slunečního světla, které tak zůstane v atmosféře a napomůže tak dalšímu oteplení. V konečné fázi také přispěje k roztátí pevninských ledovců a zvýšení hladiny oceánu. [5]

Graf 9. Úbytek pevninských ledovců – Arktického (nahore) a Grónského (dole) od roku 2002 – 2/2010



Zdroj: www.nasa.gov

Graf 10. Snížení pokrytí Arktického ledového oceánu ledovcem v období 1979 – 2010



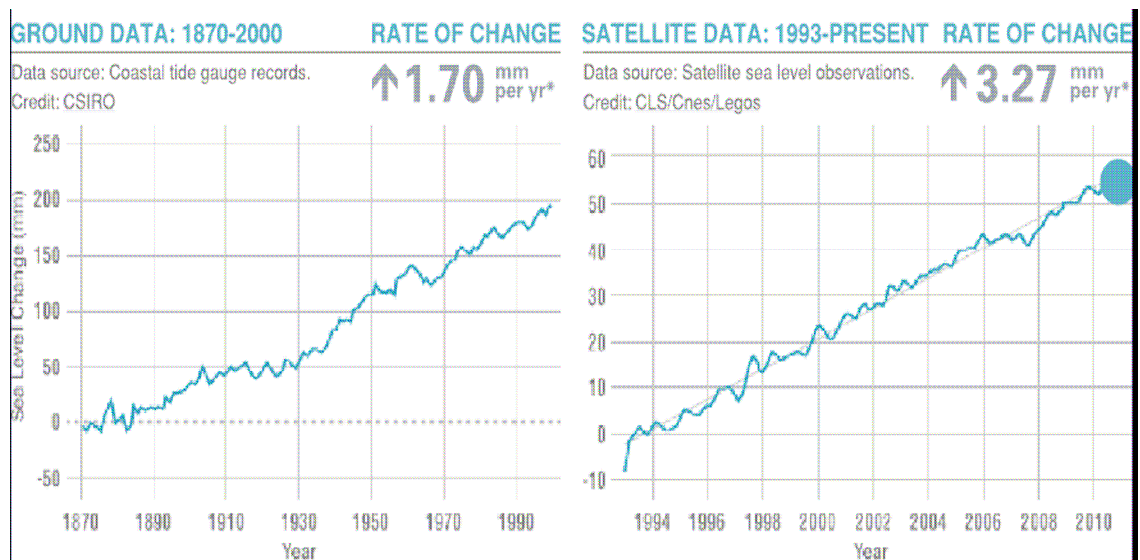
V září je ledová pokrývka severního ledového oceánu nejnižší.

Zdroj: www.nasa.gov - Satellite observations

Vzestup mořské hladiny se pohybuje v globálním průměru v rozmezí 1 – 2,5 mm za rok, během posledních sto let se tak hladina světového oceánu zvýšila v průměru o 18 cm. Podle různých záznamů pobřeží se v některých oblastech zvedla dokonce o 25 cm. Dle výpočtů toto zvýšení odpovídá nárůstu teploty moře o 0,6 °C v horní vrstvě oceánu. Tento trend zvyšování hladiny se stále zvyšuje, již nyní je však nejrychlejší za posledních několik tisíciletí. [1] V současné době je zvyšování hladiny oceánu způsobeno především jeho tepelnou roztažností. Teplá voda oceánu má větší tepelnou roztažnost a tím i větší objem než voda studená. Se zvyšující se teplotou oceánu se v důsledku tepelné roztažnosti bude hladina postupně zvyšovat [9, 20]

Vliv oceánů na naše klima je významný. Hlavním zdrojem vodní páry jsou oceány. Oceány mají velkou tepelnou kapacitu. Cirkulací a oceánskými proudy dochází k redistribuci tepla po celé planetě. Teplá voda z rovníkových oblastí je unášena do oblastí polárních. Význam má i hlubinné oceánské proudění. Slaná a studená voda má vysokou hustotu, proto klesá do hlubin a naopak, čímž dochází k hlubinnému proudění. Jakákoli změna v cirkulaci oceánských proudů může způsobit klimatické změny v různých lokalitách. Toto proudění může být narušeno zvýšenými dešťovými srážkami, zvýšeným odtokem povrchových vod, táním ledovců. Důsledkem toho všeho může dojít ke snížení slanosti a hustoty vody, což naruší přirozenou cirkulaci oceánských vod, čímž by mohlo dojít k narušení oceánského proudění a zastavení Golského proudu. [27]

Graf 11. Zvýšení mořské hladiny v období 1870 – 2000 a v období 1993 – 23.2.2011



Zdroj: www.nasa.gov

6.4.3 Extrémní meteorologické jevy a změna hydrologického cyklu

V současné době se výskyt extrémních meteorologických jevů připisuje právě změnám způsobeným globálním oteplováním. Provázanost těchto extrémních jevů s procesem globálního oteplování není možné s určitostí prokázat, neboť klima je obecně velmi nestálé. Ačkoli tento jev některé údaje naznačují, doposud nejsou přímé důkazy o tom, že tomu tak skutečně je. Extrémnost klimatu se také nemusí projevovat v globálním měřítku, což může vyvolávat otázku, zda za jejich výskytem není ještě něco zcela jiného. [5] Údaje o extrémních jevech se zaznamenávají jen v některých oblastech. V celoplanetárním měřítku nám velká část dat chybí. V současné době není možné bez těchto empirických důkazů s jistotou říct, zda je výskyt extrémních jevů skutečně zvýšený. Většina vědců však globálnímu oteplování proměnlivost a extrémy klimatu připisuje. Upozorňují na to, že živelných pohrom po celém světě stále přibývá a ztráty na životech i majetku jsou značné. [1]

Globálnímu oteplování je připisována změna hydrologického cyklu. Celkový úhrn srážek nad pevninou nevzrostl. Množství srážek se však měnilo geograficky i časově. Nárůst srážek je nejvíce patrný ve středních a vyšších zeměpisných šířkách, a to především na severní polokouli. V subtropích srážek v průměru ubývá. V tropickém pásmu nebyly patrné téměř žádné výkyvy, ale od roku 1950 se zde zvýšil výpar vody. Od počátku měření v roce 1973 se obsah vodní páry v atmosféře stále zvyšuje, neboť zvýšení povrchové teploty kontinentů i oceánů má za následek zvýšenou intenzitu odpařování. [1, 20] Při vyšší teplotě tak vzduch pojme vyšší množství vodní páry, čímž urychluje koloběh vody v přírodě. V konečném důsledku se zvyšuje intenzita meteorologických jevů. Stejně tak zvýšené množství energie na zemském povrchu a v přízemních vrstvách má za následek rychlejší pohyb vzduchu, což způsobuje rychlé změny teplot, zvýšenou sílu větrů a střídání období sucha s extrémními srážkami. [9] Díky těmto změnám se v některých oblastech vyskytuje vyšší množství přívalových dešťů.

Zřetelným projevem urychleného hydrologického cyklu jsou stále častěji se vyskytující záplavy. Záplavy většinou vznikají po dlouhém období intenzivních dešťů, kdy se půda nasákne vodou natolik, že nedokáže pojmout další množství. Vodní tok nedokáže takové množství vody pojmout a dojde k vyběžení. Rychlost a množství vody je tak obrovské, že s sebou vezme vše, co jí stojí v cestě. Záplavy se ale mohou vyskytnout i po dlouhém období sucha, kdy je půda natolik vyprahlá, že najednou nedokáže silné přívalové srážky pojmout. K záplavám přispívá i změna využívání krajiny. [9]

Většina vodní páry vzniká nad teplými vodami oceánů a větry je unášena nad pevninu, kde vypadne ve formě srážek. Se zvyšující se teplotou se zvýší i rychlost vypařování z vodní hladiny, srážky tak dosáhnou plného nasycení již krátce po svém vzniku nad oceánem a mohou spadnout dříve, než se dostanou nad pevninu. Zároveň se zvyšující se teplotou pevnin, dojde k úbytku relativní vlhkosti vzduchu, a tím i k úbytku srážek vzniklých nad pevninou. V budoucnu dojde ke snížení dešťových srážek a oblačnosti nad kontinenty, což bude způsobovat stále extrémnější sucha s vysokými teplotami. To povede ke ztenčení zásob vody, především v oblastech, které se již nyní potýkají s nedostatkem vody. Zásobování vodou, zejména kvalitní pitnou vodou, je na mnoha místech planety stále horší, a míst s kritickým nedostatkem vody stále přibývá. Již dnes pociťuje nedostatek pitné vody každý třetí obyvatel Země, a tato situace se bude nadále zhoršovat, ale ani vyspělým státům se nedostatek zásob vody nevyhne. V USA a Austrálii vznikly

rozlehlé metropole čítající miliony lidí, které v současné době začínají pociťovat nedostatek vody. Vodní potenciál na stavbu dalších přehrad je již vyčerpán a vody je zapotřebí stále víc. Podle nejhorších scénářů budou obyvatelé těchto metropolí nuceni je opustit. Jejich vybudování stálo miliardy dolarů a ztráty tak budou značné. [5, 9]

S narůstajícím suchem bude také patrný stále častější výskyt požárů. Velké požáry vznikají především v oblastech, kde se vyskytují vysoké teploty a je sucho. V současné době se vyskytují s výjimkou Antarktidy na všech kontinentech.

Každý rok se pouště rozrůstají o desítky tisíc kilometrů. V současnosti tvoří pouště a polopouště asi 35 procent rozlohy kontinentů. Rostoucí sucho a lidské aktivity budou k desertizaci přispívat stále víc. [9]

Na severní polokouli se zmenšil rozsah sněhové pokrývky. Celkový úbytek činní asi 10 %, z nichž je nejvyšší úbytek patrný na jaře a nejmenší v zimě. Velký podíl na úbytku je způsoben i kladnou zpětnou vazbou zapříčiněnou změnou albeda. [20]

Vyšší průměrná teplota u zemského povrchu vyvolává lokálně větší teplotní rozdíly. Rozdílné teploty vzduchu společně s větším množstvím vodní páry vytváří rozdíly v měrné hmotnosti vzduchu. Tím dochází ke generování hlubších a rozsáhlejších tlakových níží a mohutnějších tlakových výší. V důsledku tak dochází ke vzniku větrných bouří, vichřic a orkánů. Jejich výskyt je stále častější a projevují se stále vyšší intenzitou. Způsobují značné škody na majetku, ale i v lesním porostu. Extrémními případy tlakových níží jsou tropické cyklony, které vznikají nad hladinou oceánu. Nejznámější z nich jsou hurikány a tajfuny. Pro svůj vznik potřebují teplotu povrchové vody vyšší jak 27 °C. V důsledku globálního oteplování se otepluje i oceán, a teplá voda se tak rozšiřuje i do vyšších zeměpisných šířek. Se vzrůstající se teplotou oceánu bude docházet ke stále častějšímu výskytu cyklon, které budou stále častěji zasahovat i do větších vzdáleností od rovníku.

Nad kontinenty jsou stále častěji pozorována tornáda. Tornáda vznikají nejčastěji nad kontinenty v místech, kde dochází ke styku dvou proudů vzduchu, a to studeného a teplého. Jejich vzájemným účinkem se roztočí vzduch ve válcových sloupcích a vznikne tornádo. Se stále častějšími lokálními rozdíly teplot vzduchu, bude jejich výskyt stále častější.

Živelné pohromy jsou stále ničivější a jejich frekvence se snižuje. Na počátku 80. let bylo evidováno průměrně na 120 katastrof ročně. Na počátku 21. století se počet katastrof zvýšil průměrně na 500 ročně. Počet lidí postižených přírodními katastrofami se od 80. let zvýšil o 46 procent. Mezi lety 1985 – 1994 bylo přírodními katastrofami postiženo ročně na 174 milionů lidí. Do roku 2004 se průměrný počet zvýšil na 254 milionů lidí. Rostoucí počet lidí postižených katastrofami se zvyšuje s rostoucím přírůstkem obyvatelstva. Lidé se také soustředí v blízkosti mořského pobřeží a břehů řek. Během 20. století přišlo o život v důsledku přírodních katastrof asi 1,3 milionu lidí. Během prvních deseti let 21. století přišlo o život již asi 780 tisíc lidí. Samozřejmě ne všechny katastrofy jsou způsobeny lidským zásahem do přirozené rovnováhy klimatického systému, ale nárůst katastrofických událostí je čím dál více patrný. [9]

Pro pojišťovny se vyplácení škod po živelných katastrofách stalo velkým břemenem. Náhrady za škody se ročně zvyšují o 10 %. Pokud by se náklady dále zvyšovaly stejným tempem, v roce 2065 by škody způsobené změnou klimatu dosáhly všeho, co lidé vyprodukují. V roce 2005 způsobilo počasí celkové škody ve výši 89 miliard dolarů. Tyto škody přesahují celá osmdesátá léta. [36]

6.4.4. Vliv změny klimatu na zemědělství

Naopak oproti klimatickým katastrofám z některých údajů vyplývá, že se v některých geografických regionech snížila četnost extrémně nízkých minimálních teplot a zkrátilo se trvání mrazů. A to především v Austrálii a USA, kde se tento úbytek projevil až o 30 dní. Snížení takto mrazivých dnů má kladný dopad především na zemědělství, což by se mohlo projevit vyšší sklizní. [20]

Je otázkou, zda tato skutečnost bude mít skutečně kladný dopad na zemědělství či nikoli, neboť dochází k častějšímu výskytu extrémních srážek a vln veder, které způsobují teplotní stres nejen lidem, ale i zvířatům a rostlinám. [27] Vyšší intenzita srážek se bude projevovat stále většími záplavami, rozsáhlejšími plochami zatopení a zvýšeným počtem lavin. Dále větší povrchový odtok vody, způsobí větší půdní erozi a přispěje ke zvýšeným nárokům na protipovodňová opatření. Půda je pro zemědělství nezastupitelná, ale současný stav zemědělských půd není zcela příznivý. Některé změny klimatu a to především změna vodního režimu může mít nepříznivý dopad na její fyzikální vlastnosti. Pokud bude mít ještě nedostatek humusu může to mít negativní vliv na správný růst a vývoj vegetace. Zvýšení teploty ovlivňuje vývoj rostlin, u kterých tak nastupuje dříve fenofáze. Což má vliv na živočichy, kteří jsou závislí na konkrétních rostlinných druzích. [1]

6.5. Působení zpětných vazeb

Procesy probíhající v klimatickém systému jsou propojeny velmi složitými vazbami. Anomálie spuštěné určitým mechanismem se mohou zesilovat pomocí kladné zpětné vazby, nebo zeslabovat díky záporné zpětné vazbě. Kladnou zpětnou vazbou je například albedo zemského povrchu s vazbou na rozsah polárního zalednění. Pokles teploty se v polárních oblastech může projevit nárůstem ledové pokrývky, která odrazí více slunečního záření než povrch bez zalednění a způsobí tak další pokles teploty. Kladné zpětné vazby vyvolávají nestabilitu klimatického systému, stabilitu naopak zvyšují záporné zpětné vazby. Lze předpokládat, že byt' malý zásah do klimatického systému, může vyvolat řetězovou reakci a v důsledku kladných zpětných vazeb přerůst do nezvratných rozměrů. [2] Zvýšení koncentrace CO₂ zapříčiní globální oteplování, a s ním se pojí další zpětné vazby. Tyto zpětnovazebné systémy nejsou v současné době dostatečně prostudovány, ale jejich celkový účinek přispěje pravděpodobně k dalšímu oteplení. Právě kumulace zpětných vazeb by mohla zvýšit globální teplotu mnohem více, než samotné působení emisí CO₂. CO₂ tak může být jen spouštěcím mechanismem k značnému globálnímu oteplení. Neboť oteplí-li se teplota povrchu, zrychlí se výpar, zvětší se objem vodní páry ve vzduchu, což povede k dalšímu oteplení. Následkem by tak mohlo být zvýšení skleníkového efektu. [5, 9, 38]

6.5.1. Albedo

Dalším příkladem zpětných vazeb je vztah mezi teplotou zemského povrchu a odrazem slunečního záření, neboli albedem. Největší část slunečního záření odráží led a sníh. Povrchy pokryté kryosférou ochlazují své okolí, toto ochlazení se pak cirkulací atmosféry a oceánu roznáší po celé planetě. [20] Pokud se však zvýší teplota, povede to k úbytku zaledněných oblastí, tím se sníží procento odraženého záření, což povede k dalšímu oteplování. Sněhová pokrývka má mnohem větší albedo než voda a lesy. Zalesnění v oblastech, kde dříve bývala sněhová pokrývka může mít negativní vliv, neboť ačkoli lesy fixují velké množství uhlíku, namísto sněhové pokrývky mohou způsobit snížení radiální bilance povrchu pevniny. [27] Pokud by došlo k nahrazení amazonského pralesa savanou, snížil by se odpar o desítky procent. To by způsobilo zvýšení povrchových teplot, změnu globální větrné cirkulace a odtokových poměrů. Změna odtoku by s sebou nesla změnu v přísunu živin do oceánu a ovlivnila by tak mořskou biotu. [2, 5]

6.5.2. Oblaka

Doposud se vedou spekulace jaký vliv mají na albedo oblaka. Oblaka zesilují skleníkový efekt, neboť absorbují dlouhovlnné záření odražené od Země. Zároveň však odrážejí krátkovlnné a viditelné záření ze Slunce, čímž přispívají k ochlazování atmosféry. Převládající vliv závisí především na druhu oblaku, a to vzhledem k jeho výšce, složení, pokrytí oblohy a geografické oblasti. Značný vliv má také roční období v souvislosti se zeměpisnou šířkou. V letním období v tropech a středních zeměpisných šířkách způsobují ochlazování, zatímco v zimě ve středních šířkách a polárních oblastech způsobují oteplování. Celkovým součtem bylo zjištěno, že oblaka přispívají spíše k ochlazování atmosféry. Zvýšení oblačnosti by tak mohlo pravděpodobně působit jako negativní zpětná vazba, protože by se zvýšila odrazivost slunečního záření. [6, 20, 27]

6.5.3. Aerosoly

I přes množství emisí skleníkových plynů v období mezi 40. a 70. lety minulého století se průměrná teplota snižovala, a i podle některých předpokladů se měla Země oteplít dvakrát více, než se skutečně stalo. Tyto jevy vědci přisuzují aerosolovým částicím vyprodukovaným lidskou činností. Aerosol je soubor tuhých, kapalných a směsných částic o velikosti 1nm – 100 μm, suspendovaných v atmosféře minimálně po dobu umožňující jejich detekci. Doba setrvání v atmosféře je totiž jen několik dní či týdnů. Mezi atmosférické aerosoly se zahrnují drobné částice jako například prach, saze, písek a soli z povrchů oceánu. Aerosoly dělíme na sulfáty a saze, které vznikají při požárech, vulkanickou činností, průmyslovou a další antropogenní činností. Sulfáty ve většině odrážejí část slunečního záření a způsobují tak ochlazování, zatímco saze sluneční záření pohlcují a tím podporují skleníkový efekt. Mezi nepřímé vlivy aerosolů patří především vliv na dobu a výskyt mraků. Aerosoly vytvářejí kondenzační jádra, takto vytvářené kapky jsou malé a nedosahují kritické úrovně, při níž by padaly k zemi ve formě deště. Na množství skleníkových plynů a aerosolů závisí množství tepelné energie, která pronikne na zemský povrch, nebo se zdrží v atmosféře. Aerosoly snižují teplotu na Zemi tím, že přes ně pronikne menší množství slunečního záření. Dojde-li

k poklesu srážek, tak se vlivem větší oblačnosti ochladí. Jaký je rozsah ochlazování aerosoly v atmosféře, lze jen těžko určit. [2, 27]

V letech 1992 a 1993 byly pozorovány nižší teploty jako následek erupce Mt. Pinatubo v roce 1991. Snížení teplot se nejvíce projevilo na severní polokouli a to v létě a na podzim. Tato erupce snížila přímou sluneční radiaci dopadající na zemský povrch až o 3 % po dobu několika měsíců. [20] Aerosoly mohou velmi poškodit lidské zdraví. Již během 17.století v Anglii bylo pálení uhlí v Londýně zakázáno, protože na takzvanou žlutou mlhu tehdy zemřely stovky lidí. I v současné době přes značný stupeň technologického vývoje aerosoly vzniklé spalováním uhlí v USA zabijí ročně až 60 000 lidí. [5]

6.5.4. Oceán

Oceán je největší zásobník CO₂ na Zemi. Zachytávání uhlíku je řízeno teplotou vody a parciálním tlakem. Pokud dojde ke zvýšení teploty mořské vody, zvýší se tak parciální tlak v povrchové vrstvě oceánu a dojde ke snížení množství CO₂ rozpuštěného v oceánech. Schopnost oceánu pohlcovat CO₂ závisí na oceánském proudění a procesu tzv. biologické pumpy. Proudění je spojeno s klimatickým systémem. Změna klimatického systému by tak mohla zpomalit výměnou hlubokomořských vod bohatých na živiny s povrchovou vrstvou. To by oslabilo rozmnožování a růst planktonu, který po odumření působí jako hlavní činitel v ukládání CO₂ na mořské dno. Teplá tropická moře jsou na zarybnění chudá a v některých oblastech dokonce mrtvá. Naopak směrem k pólům života přibývá. Život v oceánu závisí na množství fytoplanktonu, a jeho výskyt je limitován množstvím minerálních živin. Oceán pohlcuje nejvíce CO₂ v oblastech severních šířek, naopak v oblasti rovníku dochází k jeho uvolňování zpět do atmosféry. Se zvyšující se teplotou vody tak bude docházet k menšímu pohlcování a většímu uvolňování CO₂. Zvýšení odtoku povrchových vod, tání ledovců a ledové pokrývky moří může snížit salinitu oceánu a v konečném důsledku může dojít k nestabilitě oceánského proudění, nebo dokonce k zastavení Golského proudu. Výzkum oceánu a jeho odezvy na globální oteplování je teprve v počátcích, proto nelze zatím určit jaké následky mohou mít v budoucnu. [10, 37]

6.5.5. Vegetace

Se zvýšenou koncentrací CO₂ se zvyšuje i fixace oxidu uhličitého rostlinami. Vegetace by tak působila jako negativní zpětná vazba. Avšak mýcení a vypalování lesů tento cenný zásobník CO₂ snižuje. Zároveň se do vegetace přebytečné CO₂ ukládá jen na omezenou dobu, po odumření se CO₂ uvolňuje zpět do atmosféry. Na vegetaci bude také v důsledku klimatických změn stále více vyvíjen teplotní stres, a stále častěji se bude potýkat s nedostatkem vláhy. [27]

6.5.6. Hydráty metanu

Jedním z největších nebezpečí pozitivní zpětné vazby jsou zásoby hydrátu metanu. Ložiska byly objeveny na mnoha místech planety, především na dnech oceánů a v permafrostu. K jejich uvolnění by došlo při změně tlaku nebo zvýšení teploty. Při jejich uvolnění by mohlo dojít během krátké doby ke značnému oteplení. V současné době se také zkoumají za účelem těžby, což by mohlo mít na budoucí vývoj klimatu zásadní vliv. [6, 10]

6.6. Názory vědců na globálnímu oteplování

S narůstajícími poznatky o vlivu člověka na globální oteplování a klimatické změny, vznikaly námitky na tato tvrzení. Podle některých klimatologů je současná situace vážná, podle klimatických odpůrců nikoliv. V poslední době se názory odmítající globální oteplování objevují čím dál častěji. Některé polemické názory jej jednoduše popírají, jiné jej akceptují ale nesouhlasí s antropogenními příčinami.

Klimaskeptici tvrdí, že globální oteplování způsobené člověkem v důsledku emisí není prokázáno. Veškerá tvrzení klimatologů vyvrací různými způsoby. Jejich společným názorem však je, že fenomén globálního oteplování je vytvořen především médii, politiky a vědci, kteří se podle jejich názoru chtějí zviditelnit a zveřejňují neověřená fakta a fantastické scénáře. Pro klimaskeptiky je nejlepším řešením nedělat nic, než dělat opatření, která jsou nesmyslná. Bohužel za některými námitkami stojí zájmy uhelných a ropných společností. Zároveň se tímto problémem zabývají stále častěji politici a ekonomové, jejichž nejčastější výtkou je to, že budoucí generace budou bohatší než generace současné, proto se s klimatickými změnami dokáží vyrovnat lépe, než současné generace se snižováním emisí. Toto tvrzení je poněkud neetické a nemorální vůči následujícím generacím.

Některé státy odmítají přijímat opatření potřebná ke snížení emisí CO₂, neboť by to mohlo poškodit jejich ekonomiku. Roční náklady na tato opatření jsou odhadovány maximálně na 1 % světového HDP. V porovnání s náklady na zbrojení, na vypořádání se s klimatickými katastrofami a náklady spojenými s léčebnými výdaji způsobenými znečištěním životního prostředí je to opravdu malá částka. Je však nezbytné, aby tyto prostředky byly vynakládány na projekty, které skutečně přinesou ekologické a energetické efekty. Bohužel tomu tak není ve všech případech. [10]

Většina klimaskeptiků napadá současné globální oteplování, neboť ke kolísání koncentrace oxidu uhličitého v ovzduší a globální teploty docházelo již v minulosti, proto současné změny mají přírodní charakter a nejsou vyvolány lidskými aktivitami. [13, 12] Podle vědeckého výzkumu je však patrné, že po více než 400 tisíc let se koncentrace oxidu uhličitého pohybovala od 180 ppm v nejchladnějších obdobích dob ledových, do 280 ppm v dobách meziledových. Tato koncentrace se začala zvyšovat od počátku průmyslové revoluce až na současných 389 ppm. Tou dobou začali lidé využívat fosilní paliva a jejich spotřeba se stále zvyšuje. V současné době nebyl na Zemi nalezen jiný zdroj CO₂, který by dokázal vyprodukovat tak značné množství emisí, za tak krátkou dobu. [10] V důsledku toho, že na Zemi takový zdroj CO₂ nalezen nebyl se mnoho klimaskeptiků uchyluje k hledání zdroje současného oteplení mimo naši planetu. Essenhigh se domnívá, že podle Milankovičových cyklů osciluje teplota s periodou asi 100 000 let. V současné době se nacházíme na vzestupné fázi. [32] Ale protože je tendence oteplování patrná právě v posledních letech, lze vyvrátit teorii změny parametrů oběžné dráhy a geologické změny, jejichž nástup by trval podstatně déle, a to v rozmezí tisíců až milionů let. [1]

Další klimaskeptici podporují hypotézu o rozhodujícím vlivu sluneční aktivity na globální klima. Christensen a Lassen tvrdí, že rozhodující vliv na současné klima má právě sluneční aktivita. Proměnlivost slunečního záření se projevuje s periodicitou 80 – 90 let a kratší periodou 11 let. [3] Ačkoli změna slunečního záření přispívá k teplotním změnám, během desítek až stovek let by

nedokázala přispět významným způsobem.[10] Podle výzkumů přispívá tento jev k oteplování asi šestkrát méně než současná koncentrace skleníkových plynů v atmosféře. Stejně tak změny sopečné činnosti by měly na současné zvýšení teploty jen nepatrný vliv. [1]

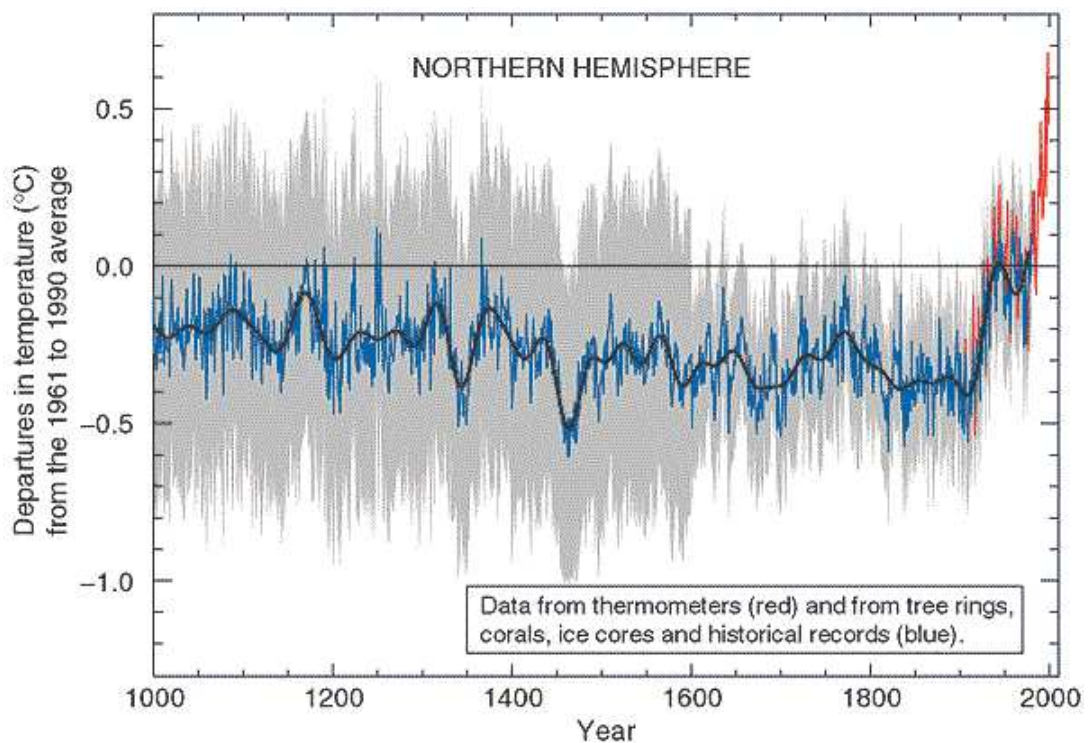
Nigel Lawson tvrdí, že růst teploty v současnosti se zastavil, a to v době, kdy emise CO₂ rostou rok od roku rychleji, více než kdykoli v minulosti. Teplota a vyšší koncentrace oxidu uhličitého od počátku průmyslové revoluce lineárně vzrůstala. V současné době se však koncentrace CO₂ v atmosféře zvyšuje, aniž by toto zvýšení mělo vliv na teplotu. Zpomalení růstu teploty v 21.století dokládá tvrzením Hadleyho centra pro předpovědi a výzkum klimatu (Britský státní meteorologický ústav), které konstatuje že nyní na počátku 21.století se růst globálních teplot zpomalil. Podle Lawsona je to důkaz toho, že zvýšené emise CO₂ nemají na zvyšování teploty takový vliv, jak se doposud tvrdilo. [13] Podle Barrose, byl však lineární nárůst teploty způsoben tím, že absorpční pásma troposféry nebyla zahlcena. Nyní se předpokládá, že zahlcení těchto pásem ukončí lineární nárůst vlivu emisí. Při vyšším nárůstu koncentrace bude vliv vzrůstat pomaleji. To znamená, že i když emise v rozvojových státech budou stále narůstat, a bude jich více než emise vyspělých států uvolněné v minulosti, jejich dopad bude nižší. [1] Současně může být tento jev způsoben zpětnými vazbami.

Mnoho vědců zpochybňuje vliv CO₂ na zvyšování teploty na Zemi a napadají věrohodnost údajů. Upozorňují na rozdíl mezi výsledky měření teploty družicemi Země, které zvyšování teploty neprokazují, a pozemními měřeními, z nichž je zvyšování teploty odvozeno. Globální oteplování podle nich bylo způsobeno zkreslením dat teplotních záznamů efektem „městského tepelného ostrova“, neboť většina meteorologických stanic se nachází ve městech. [13] Od počátku vzniku teplotních řad vznikala otázka, na kolik jsou tyto údaje městským tepelným ostrovem zkresleny, protože většina stanic byla již od počátku umístěna ve městech. Doposud bylo zjištěno, že význam tepelného ostrova města ovlivňuje výsledky teploty asi o 0,05 °C. Největší vliv má na jaře. Celková neurčitost těchto dat se odhaduje na 0,15 °C. Dalšími 0,1 °C je teplota ovlivněna nepřesností měření a dat. [20] Teplotu Země začaly nedávno měřit i družice. Teploměry jsou po planetě rozmístěny velmi různorodě, v měření se vyskytují velké mezery. Na rozdíl od teploměrů je výhodou družic pokrytí celé planety. Avšak mezi měřeními teploty pomocí teploměrů a družic vznikl zásadní rozdíl. Teploměry ukazovaly důkazy o tom, že se planeta otepluje, a to rychlostí 0,17 °C za deset let. Družice však ukazovaly, že oteplení probíhá jen nepatrně. Chybou byly údaje z družic. Skleníkové plyny oteplují troposféru, zatímco narušení ozónové vrstvy ochlazuje stratosféru, průměrem těchto teplot byly získány zcestné údaje. V současné době je zvyšování teploty prokazatelné i z družicových měření. [5]

Miroslav Kutílek společně s většinou klimaskeptiků kritizuje IPCC, protože by měla být nezávislá a to podle něj není. IPCC zakládá hypotézu o globálním oteplování na grafu tzv. Mannovy hokejky, která má dnes mnoho svých odpůrců. Mannova hokejka ukazuje teploty na severní polokouli od roku 1400. Na grafu je zřejmý nárůst teplot, a nejprudší nárůst je patrný ve 20.století. To jest v době, kdy se zvyšuje koncentrace CO₂ v atmosféře. Kutílek upozorňuje na to, že Mannův graf je založen na vyhodnocení přímých měření teplot v 19. a 20. století, ale pro starší data získává svá data z proxy dat. Jiné metody získávání dat zjistily, že v letech 1400 – 1420 byla průměrná teplota dokonce vyšší, než je dnešní současná teplota. Podle jeho závěru na tyto publikace nebere IPCC zřetel. [12] Během posledních dvou tisíc let se projeví čtyři teplotně rozdílná období, která jsou dobře popsána

v kronikách a vyplývají i z letokruhů stromů. Z těchto období většina autorů dedukuje, že kolísání teploty bylo patrné na celé planetě. K tomu však neexistuje dostatek důkazů. Zkoumání proxy dat ukazuje, že se tato období nezasáhla celou planetu. Již jejich samotný nástup se regionálně lišil. Průměrné globální teploty tak nemusely překročit teploty současné. Doposud bylo zpracováno mnoho podobných grafů, které tyto poznatky potvrzují. Jiní vědci zase namítají že tato klimatická optima byla potvrzena i vrty v Antarktidě. Právě Mannův graf rozpoutal diskuzi ohledně globálního oteplování a rozdělil vědce na dvě skupiny. Mannův tým došel k závěru, že teplotní změny byly způsobeny teplotními rozdíly v oceánech. Oceán tak mohl ovlivnit Evropu zvýšeným účinkem Golského proudu, nebo jižní polokouli jevem El Niño a La Niña. Většina klimaskeptiků se ohrazuje grafem sestaveným McIntyrem a McKitrickem. Jejich graf však vykazuje mnohé nepřesnosti, zároveň končí rokem 1980. Pokud bychom tento graf doplnili o teploty naměřené přímým měřením po roce 1980, zjistíme, že současné průměrné globální teploty jsou vyšší, než teploty středověkého klimatického optima. [5, 10, 27]

Graf 12. Tento graf nazvaný hokejka vytvořil geofyzik Micheal Mann, Bradley a Hughes roku 1998. Zaznamenává průměrnou teplotu za posledních tisíc let.



Zdroj: <http://www.global-warming-and-the-climate.com/mann's-hockey-stick-climate-graph.htm>

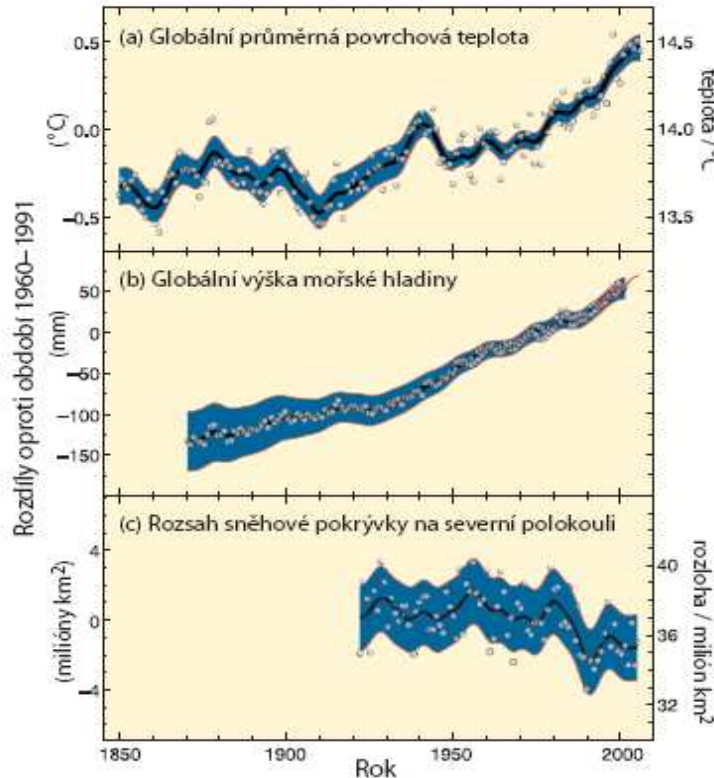
6.7. Stanovisko IPCC

Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC) ve své závěrečné zprávě uvádí, že lidské aktivity podle většiny důkazů k oteplování přispívají. Oteplování klimatického systému je zřejmé z pozorování nárůstu globálních průměrných teplot vzduchu a oceánů, rozsáhlého tání ledovců a sněhové pokrývky a ze zvyšování průměrné výšky mořské hladiny. Jedenáct z posledních dvanácti let (1995 – 2006) se řadí mezi dvanáct nejteplejších let od roku 1850. Od roku 1906 – 2005 je lineární trend nárůstu teploty ve výši 0,74 °C. Nárůst teploty je patrný na celé planetě, nejvíce však ve vyšších severních zeměpisných šířkách. Pevniny se oteplují rychleji než oceány. V důsledku oteplování dochází ke zvyšování hladiny moře. Zatímco od roku 1961 se hladina moří zvyšovala v průměru o 1,8 mm za rok, od roku 2003 se zvyšuje v průměru o 3,1 mm ročně. Ke zvyšování mořské hladiny přispívá tepelná roztažnost vody, tání ledovců a ledových čepic a polárních ledových příkrovů. Družicové údaje ukazují od roku 1978 ubývání rozsahu sněhu a ledu. K úbytku horských ledovců a sněhové pokrývky dochází na obou polokoulích. Dochází ke značnému úbytku plochy mořského ledu, a to až na 2,7 % za desetiletí. Nejvíce je úbytek patrný v létě a to až o 7,4 % za desetiletí. Od roku 1900 vzrostlo množství srážek ve východních částech Severní a Jižní Ameriky, v severní Evropě a severní a střední Asii, zatímco v oblasti Sahelu, v oblastech Středozemního moře, v jižní Africe a v částech jižní Asie došlo naopak k poklesu. Za posledních padesát let pravděpodobně klesla četnost chladných dnů, nocí a mrazů na pevnině. Zvýšil se počet horkých dnů a nocí. Častější je výskyt vln veder a vzrostla četnost intenzivních srážek. Od roku 1970 je patrná zvýšená aktivita intenzivních tropických cyklón v severním Atlantiku. Je však obtížné zjistit současný trend jejich ročního počtu a aktivity. Z více než 29 000 souborů dat z pozorování pocházejících ze 75 výzkumů, je patrné že významné změny u mnoha fyzikálních a biologických systémů, jsou z více jak 89 % odezvou na globální oteplování. Oteplování a dřívější nástup jara způsobuje posuny v rozsahu výskytu rostlinných a živočišných druhů směrem od rovníku a do vyšších nadmořských výšek. To platí i u některých mořských a sladkovodních systémů. Atmosférické koncentrace CO₂ (379 ppm) a CH₄ (1774 ppb) v roce 2005 značně převýšily přirozený rozsah, patrný z ledovcových vrtů za posledních 650 000 let. Globální nárůst koncentrace CO₂ je způsoben především používáním fosilních paliv, a v menším důsledku i změnami ve využití půdy. Vliv spolupůsobení slunečních aktivit a vulkanických činností by během posledních padesáti let způsobil nejspíš ochlazení. Očekává se, že nejhorší dopady na přirozené ekosystémy a obyvatele Země bude mít převážně, změněná četnost a intenzita extrémních povětrnostních jevů spolu se zvýšenou hladinou moře. I kdyby nyní došlo ke stabilizaci emisí skleníkových plynů, oteplování a s ním zároveň zvyšování hladiny oceánu budou pokračovat vlivem časových měřítek klimatických procesů a zpětných vazeb po staletí. Rychlost změny klimatu by mohla v budoucnu vést k náhlým a nevratným dopadům. Existuje široká škála možností, jak by se společnost mohla přizpůsobit klimatickým změnám. Avšak ke snížení zranitelnosti vůči změně klimatu je zapotřebí rozsáhlejší adaptace, než jaká v současnosti probíhá. Současně existují určité bariéry a omezení, které nejsou doposud zcela pochopeny. Může se jednat již o dnes existující klimatická rizika, především výskyt chudoby a nerovnoměrného přístupu ke zdrojům, nedostatečného zabezpečení potravin, trendů v rámci ekonomické globalizace, konfliktů a výskytu chorob. Schopnost adaptace na klimatické změny souvisí se sociálním a

hospodářským rozvojem. V současné době je nerovnoměrně rozdělena jak mezi jednotlivými státy, tak i mezi společnostmi a uvnitř těchto společností.[47]

Graf 13. Změny teploty, výšky mořské hladiny a rozsahu sněhové pokrývky na severní polokouli.

Změny teploty, výšky mořské hladiny a rozsahu sněhové pokrývky na severní polokouli



Všechny změny jsou průměry za období let 1961 – 1990. Křivky zobrazují desetileté průměrné hodnoty, zatímco kolečka označují roční hodnoty.

Zdroj: www.ipcc.ch

6.8. Vývoj klimatu v průběhu 21. století

Ačkoliv se v současné době klimatická změna neprojevuje nějak razantněji, neznamená to, že tato změna není. Globální oteplování není v současnosti vnímáno jako hrozící nebezpečí právě proto, že je to hrozba skrytá a časově zpožděná. [1] Na změny klimatu reagují nejcitlivěji a nejrychleji především živé organismy. Tyto reakce jsou zdokumentovány fenologickými pozorováními. Některé jevy dokonce pozorují sami obyvatelé některých oblastí. [27]

V současné době je snížení emisí skleníkových plynů obtížné. A to především proto, že vznik emisí přímo souvisí s energetikou a výrobou potravin. Zároveň vznikají tyto emise nepřímo například kácením pralesů. Nelze tedy jejich tvorbu pouze zakázat, především musí být v co nejbližší době vyvinuta nová technologie, která umožní snížení emisí, aniž by došlo k omezení hospodářské činnosti. Globální snížení spotřeby emisí se jeví jako neproveditelné, především díky rozvojovým státům a vlivným politikům, kteří globální oteplování doposud popírají. [1]

7. Vliv CO₂ na živé organismy

Oxid uhličitý je pro život na Zemi nezbytný. Rostliny využívají energii ze slunečního záření k tomu, aby vzdušný oxid uhličitý využily ke stavbě své hmoty. Se zvyšujícím se přísunem energie se zvyšuje i rychlost hromadění biomasy, což platí i pro zvýšení koncentrace CO₂. Dokonce v koncentracích o 400% vyšší než je současná koncentrace je prokázán kladný vliv na výnosy plodin. Pro živočichy je oxid uhličitý i ve větších koncentracích neškodný, není toxický ani nezpůsobuje alergie. Nebezpečí tohoto plynu tkví v tom, že se zdržuje při zemi. Ve vyšších koncentracích však způsobuje vážné zdravotní potíže s následkem smrti. V současné době oxid uhličitý ovlivňuje živé organismy převážně nepřímým způsobem. A to právě díky globálnímu oteplování způsobeným klimatickými změnami. [12, 25, 27]

Zvýšení koncentrace CO₂ v atmosféře může způsobit převratné ekologické změny. Některým rostlinám totiž vyšší koncentrace CO₂ prospívá, jiným nikoli. Tyto rostliny tak budou mít navrch oproti rostlinám, kterým fotosyntéza s vyšším množstvím CO₂ neprospívá. Mohlo by tak dojít k rozšíření adaptovanějších druhů, čímž by došlo k vytlačení náchylnějších rostlin. Zároveň tak dojde i k migraci živočišných druhů.

Globální oteplování ovlivňuje především deštné pralesy, plíce našeho světa. V oblastech kolem Amazonky se například mění poměr stromů, které tvoří klenbu. Je to způsobeno tím, že zvýšený poměr CO₂ v atmosféře prospívá některým druhům stromů více než jiným. Druhy prosperující z CO₂ rostou rychleji a vytěsňují tak stromy ostatní, také zastiňují stromy v sousedství a snižují tak biodiverzitu pralesa. S mizejícími stromy totiž mizí i zvířata, která jsou na nich závislá. Katastrofické dopady to však může způsobit v izolovaných systémech, například v močálech a hornatých oblastech, ale i v oblastech izolovaných kvůli lidské činnosti, kterých stále přibývá. Tyto systémy budou vzhledem k nemožnosti migrace masivně vymírat. [1, 5]

7.1. Vliv změny koncentrace CO₂ na růst rostlin

Zvýšení obsahu CO₂ ve vzduchu má vliv na rychlejší fotosyntézu rostlin, a tím vyšší produkci biomasy a rychlejší růst. Stávající koncentrace oxidu uhličitého u většiny rostlin nezajišťuje plné nasycení CO₂, jeho koncentrace se tedy může dále zvyšovat ku prospěchu rostlin. Rostliny potřebují ke svému životu především sluneční záření a anorganické živiny. Zdroj vody potřebují jako zdroj protonů a elektronů. Uhlíku pro výstavbu tkání získávají z atmosféry přeměnou CO₂. Procesem jejich vzájemné látkové výměny je fotosyntéza. Fotosyntéza je velmi složitý fyzikálně chemický proces, který u různých druhů probíhá odlišně. Fotosyntézu vytvářejí rostliny, řasy a některé bakterie. Je to proces, při kterém se energie světelného záření mění v živých organismech na energii chemickou. K fotosyntéze je potřeba sluneční záření, CO₂, voda a některé minerální živiny. U všech ekosystémů je jednou ze základních podmínek optimální složení ovzduší, kde by se měly vyskytovat především CO₂, O₂ a naopak by se neměly vyskytovat látky toxické. [12, 25]

Z hlediska fotosyntézy dělíme rostliny do dvou skupin, a to C₃ a C₄. Tato klasifikace nám udává počet atomů uhlíku v prvním stabilním produktu fotosyntézy. Tyto skupiny se liší mimo jiné reakcí na zvýšený obsah CO₂

v atmosféře a tím i zvýšenou fotosyntézou. Rostliny C₄ téměř plně využívají svou kapacitu fotosyntézy. Zatímco rostliny C₃ s dalším přibýváním emisí můžou fotosyntézu urychlit. Rostliny C₃ tvoří až 95 % všech rostlin na Zemi. Tyto rostliny nejprve vytváří fosfoglycerát se třemi atomy uhlíku v jedné molekule. Při poklesu CO₂ ve vzduchu se průběh procesu fotosyntézy snižuje. Při koncentraci CO₂ nižší než 70 ppm se proces fotosyntézy zastaví úplně, směr reakcí se obrátí a fotosyntéza přejde v dýchání. Při poklesu fotosyntézy klesá i tvorba fotosyntetické hmoty. Na zvyšující se koncentraci CO₂ reagují rostliny zvýšením fotosyntézy a tím i rychlejším růstem. Při dalším zvyšování koncentrace CO₂ budou zvýhodňovány rostliny typu C₃ nad rostlinami typu C₄. Rostliny C₄ vytváří oxalacetát se čtyřmi atomy uhlíku v jedné molekule. Ten je transportován do cévního svazku rostliny, kde se rozkládá, při čemž vedlejším procesem vzniká CO₂. Po jeho rozložení rostlina uplatňuje stejné procesy fotosyntézy jako C₃ rostliny. Tyto rostliny jsou tedy takovou pumpou na CO₂, která rostlinám umožňuje využívat CO₂ pro fotosyntézu i při značném poklesu koncentrace ve vzduchu. Tyto rostliny nejsou závislé na koncentraci CO₂ ve vzduchu, zvyšování koncentrace CO₂ na zvyšování hmoty rostlin bude mít jen nepatrný vliv. Pro tyto rostliny je ideální koncentrací CO₂ ve vzduchu 200 až 250 ppm, zatímco rostliny C₃ budou se zvýšenou koncentrací CO₂ zvyšovat stejnou měrou přírůstky své hmoty. Během studia fotosyntézy byl popsán kladný vliv CO₂ na rostliny. V současné době je do skleníků přidáváno zařízení na tvorbu CO₂, čímž se zvyšují výnosy rostlin.

Mezi rostliny typu C₃ patří pšenice, ječmen, brambory a slunečnice. A rostliny typu C₄ jsou kukuřice, proso, cukrová třtina. Pozitivní vliv CO₂ na rostliny se uplatňuje více v tropických lesích než v lesích mírného pásma. [12, 25, 27]

Změna klimatu však nemusí rostliny typu C₃ upřednostňovat tak jednoznačně. Se změnami klimatu se zvyšuje teplota, a s jejím zvýšením zvyšují svou rychlost fotosyntézy rostliny typu C₄. Ty reagují na zvýšenou teplotu kladně i při mnohem vyšších teplotách. Zvyšování průměrné teploty tak bude mít pozitivní vliv na růst rostlin typu C₄. Zda-li některý typ rostlin bude mít převahu bude záviset na tom, zda zvýhodnění rostlin typu C₃ díky zvýšené koncentraci CO₂ bude mít větší vliv, než zvýhodnění rostlin typu C₄ na zvyšující se teploty. A naopak. [27]

Rostlina získává atmosférické CO₂ přes průduchy. Velikost těchto průduchů dokáže regulovat podle rychlosti příjmu vody kořenovým systémem. Proces fotosyntézy probíhá především díky slunečnímu záření. Aby se rostlina nepřehřála ochlazuje se transpirací. To je proces, při kterém otevře své průduchy a výparem tak uvolní část vody do vzduchu. Velikost transpirace závisí na vlhkosti a teplotě vzduchu. Zvýšení koncentrace oxidu uhličitého má vliv na otevření průduchů rostlin. Čím je koncentrace větší, tím méně jsou průduchy otevřené, což má za následek menší ztrátu vody evapotranspirací rostlin. V současné době, kdy se stále více budeme potýkat s nedostatkem vody, je tato přednost u rostlin příznivým účinkem. Snížení transpirace rostlin zvýší teplotu povrchu rostliny především jejich listů, a tím se urychlí růst a vývoj rostliny. Vědci již dlouhou dobu zkoumají vliv zvýšené koncentrace CO₂ na růst a produktivitu rostlin. V zásadě platí, že zvýšená koncentrace CO₂ snižuje spotřebu vody rostlinami. Rostliny spotřebují méně vody, čímž se zachovává vyšší půdní vlhkost. Rostliny C₄ reagují na zvýšenou koncentraci CO₂ mnohem šetrněji na spotřebu vody než rostliny C₃. Zvýšení produkce rostlinné organické hmoty, a s tím související hospodářský výnos, se zvýšil u rostlin typu C₃ o 30 - 50 %, a u rostlin C₄ na 10 - 20 % vzhledem ke zvyšující se koncentraci CO₂. [12, 27]

Růst rostlin podpořený zvýšenou koncentrací CO₂ může mít i negativní dopady. Každý rostlinný druh reaguje na zvýšenou koncentraci CO₂ rozdílně. Tvorbou fotosyntézy je závislá mimo jiné na minerálních látkách obsažených v půdě. Urychlení růstu rostlin může v přirozených podmínkách vyčerpávat půdu ještě před dosažením konce vegetace. Zvýšením produkce biomasy se může zvýšit celková spotřeba vody. Vyčerpání veškerých minerálních látek v půdě, by tak mohlo způsobit, že by rostliny mohly hynout dříve, než by dozrála jejich semena. Problém by mohl nastat především u přirozených ekosystémů, kde rostou rostliny obou typů pohromadě, a zvýšení koncentrace CO₂ by mohlo vyvolat změnu v mezidruhovém složení. Tato změna by pak měla vliv na další výskyt živočichů, z nichž někteří jsou závislí právě na vybraných rostlinách. Může se tak změnit skladba i býložravého hmyzu a dalších živočichů potravního řetězce. [27] Zároveň některé druhy plevelů mohou reagovat na zvýšení koncentrace CO₂ mnohem agresivněji, než kulturní plodiny. Mohou tak způsobit značné škody při vytlačování plodin z polí. Další výzkum prokázal, že stromy prosperující z vyšší koncentrace CO₂ rostou rychleji, ale slouží-li za potravu býložravcům jejich listy se stávají méně výživné. Při zvýšené koncentraci CO₂ tedy nemusí rostliny získat dostatečné množství živin. Býložravci pak budou muset zkonzumovat více listů a jinak si zpestřit jídelníček, nebo začnou hynout. Největší změny mezidruhového složení rostlin způsobí především změny klimatu. Se změnou klimatu se totiž změní rozložení srážek, projeví se změny teploty, a rostliny budou častěji podléhat teplotnímu stresu. Hrozí také riziko přemnožení škůdců. Se zvyšující se teplotou dojde k jejich migraci i do míst, kde se dříve nevyskytovali. Mírnější a kratší zimy spolu s delším vegetačním obdobím budou mít pozitivní vliv na jejich výskyt. V budoucnu se také budeme stále častěji potýkat s nedostatkem vody a dalšími klimatickými změnami. [5, 27]

V závěru lze shrnout, že zvyšující se koncentrace CO₂ bude mít na rostliny pozitivní vliv. A to především zrychlením fotosyntézy, což zvýší produkci biomasy rostlin a hospodářské výnosy. Zároveň rostliny dokáží lépe využít vodu, neboť přivíráním průduchů vydají méně vody transpirací. [25] Globální oteplení prodlouží délku vegetačního období, protože vhodné teploty pro růst rostlin začnou dříve a skončí později. V některých oblastech dojde k prodloužení průměrné délky období bez mrazů o 20 až 30 dní. Stále ale zůstane hrozba mrazíků začátkem i koncem vegetačního období. Rozšíří se plodiny náročnější na teplotu a vyšší teploty zkrátí vegetační období jednotlivých plodin. Zároveň se ale zvýší výskyt extrémně vysokých teplot, což může způsobit teplotní stres plodin. Choroby a škůdci z jižních oblastí se přesunou více na sever a změna hydrologického cyklu může způsobit nedostatek vody, který bude doprovázen extrémními srážkami. S přibývajícím teplotami začnou být ohroženy i lesy, neboť některé stromy nesnesou vlny extrémních veder, časem by však mohly být nahrazeny stromy odolnějšími na změny teploty nebo stromy z jihu. Dále se však mohou vyskytnout další reakce, které by na rostlinu mohli mít negativní vliv a doposud nejsou zcela prozkoumány. [5, 27]

Zůstává otázka, zda působení klimatických změn společně s vyšší koncentrací CO₂ nemá naopak dopad záporný. Jedná se především o změnu vodního režimu, extrémní jevy, působení škůdců a další problémy spojené s globálním oteplováním. [1]

7.2. Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na mořskou biotu

Zvýšená koncentrace CO₂ může způsobit kyselou reakci oceánu. Oceán se okyselí, absorbuje-li příliš velké množství CO₂. Podle paleoklimatologů se tento jev již v minulosti stal a mělo to za následek hromadné vymírání. V oceánu tlumí kyselost zásoba uhličitánů, pokud se jejich zásoba spotřebuje, živočichové je nebudou moci využívat k tvorbě svých uhličitánových schránek. Naopak se směr reakce obrátí a uhličitany ze schránek živočichů se začnou uvolňovat zpět do vody dokud se zcela nerozpustí. Po vyhynutí těchto druhů bude následkem potravního řetězce vymírání pokračovat a v konečném důsledku se dotkne nás všech. V počáteční fázi klimatických změn se začne oceán oteplovat, to bude mít zprvu neblahý dopad na korálové útesy a pestrý život kolem nich. Podle některých scénářů při zvýšení teploty byť jen o 1 °C, může zahynout až 82 % korálových útesů. Zvýšení o 3 °C způsobí naprostou devastaci. Z historie však víme, že některé druhy korálů dokáží přežít, ale celková biodiverzita útesů nikoli.[5] Někteří autoři uvádí, že nárůst CO₂ v oceánech naopak napomáhá rozšíření korálů. Jejichž symbiotické řasy reagují na zvýšenou koncentraci CO₂ pozitivně díky fotosyntéze. Otázkou zůstává zda tento pozitivní nárůst řas prospívá skutečně i symbióze, kterou mají řasy s korály. K úbytku korálů ale nepochybně dochází a není pochyb o tom, že na tom má svůj podíl především lidská činnost, především rybolov, kontaminace moří a okyselení dešťů vlivem antropogenní činnosti. [12]

7.3. Vliv CO₂ na životy lidí a živočichů

Oxid uhličitý vzniká například při spalování, dýchání a dalších dříve uvedených procesů. Při koncentraci 5 – 8 % objemu narušuje dýchací funkce a vyvolává závratě. Při koncentraci 9 % objemu dochází k ochrnutí dýchacího centra. Při koncentraci 15 – 18 % objemu dochází po několika vdechnutích ke smrti. [7] Člověk může přežít až devadesátidenní pobyt v prostoru se zvýšenou koncentrací CO₂ až 0,5 %. To je přibližně 13ti násobek koncentrace v atmosféře. Zvýšená koncentrace ale i v nižších dávkách může působit člověku zdravotní potíže s následkem smrti. Někteří autoři uvádějí, že změna koncentrace o 20 % oproti stávající koncentraci, dokáže člověk dlouhodobě přežít. Se zvýšenou koncentrací dochází ke změnám v metabolismu především fosforu a vápníku, které způsobují narušení struktury kostí a ukládání vápníku v tkáních.

Stejně tak jak zvýšená koncentrace ovlivňuje kyselost vody, dokáže způsobit i změnu pH lidské krve. PH krve je velmi citlivě regulováno, závisí na ní správná funkce hemoglobinu, enzymů a dalších složek. Průměrná hodnota pH krve se pohybuje v rozmezí 7,35 – 7,45. Zvedne-li se pH krve výš, krev se stane alkalickou, a dochází k jevu označovanému jako alkalóza. Při poklesu pH, se krev stává kyselou a dochází k jevu označeném jako acidóza. Oba tyto jevy mohou vést až ke smrti. Zvýšení koncentrace CO₂ o 100 ppm oproti současné koncentraci 380 ppm, by mohlo změnit pH krve na 7,4, což by nebylo pro člověka smrtelné. Krev reaguje na změnu pH vlivem zvýšené koncentrace CO₂ jinak než voda. Ačkoli by tento problém mohl ohrozit lidstvo již za pouhé dvě generace. Této problematice není věnována téměř žádná pozornost. V současné době se tak jedná pouze o odhady.

Patologická acidóza způsobuje únavu, ospalost a zvýšení krevního tlaku. Způsobuje také poruchy ve struktuře kostí. Část populace by tak nedokázala snést větší fyzickou námahu, což by se projevilo větší úmrtností. Tento problém by se

však netýkal pouze lidí, ale i ostatních suchozemských živočichů. Jedině mořští savci si během svého evolučního vývoje dokázali vyvinout metabolismy, které jim umožňují tolerovat zvýšení či snížení množství CO₂ v krvi. [27]

Největší problém pro veškerou biodiverzitu bude znamenat rychlost zvyšující se teploty a lidstvem pozměněná krajina. Vždy v minulosti, když došlo k nějaké změně klimatu, stěhoval se veškerý život přes kontinenty za vhodnějšími podmínkami. Nejen že za současných podmínek na to nebude mít dostatek času, ale většina původní biodiverzity se omezuje na národní parky, pralesy nebo malé rezervace, ty jsou dnes v důsledku lidské činnosti izolovány. Izolaci způsobuje nesmírně rozlehlá, lidskou činností pozměněná krajina. Biokoridory pro zvěř začali ve velkém vznikat až v posledních letech a na stěhování takových rozměrů nejsou uzpůsobeny. [5]

7.4. Nepřímé účinky zvýšené koncentrace CO₂ na lidské zdraví

V nejbližší době bude lidské zdraví výrazně ohroženo především nepřímými účinky zvýšené koncentrace CO₂ a to zejména změnami klimatickými, které budou mít ve svém důsledku mnohem větší dopad na lidské zdraví, než postupné zvyšování globální teploty. Změna klimatu může ohrozit zdraví celé populace, neboť zasahuje do všech oblastí světa a projevuje se jak přímo tak nepřímo. Tento problém nejvíce postihne méně vyspělé státy, které se nedokáží adaptovat na klimatické změny tak rychle jako státy vyspělé. [27] Nejohroženější skupinou obyvatel budou především starší lidé, malé děti a lidé dlouhodobě nemocní.

Přímým ohrožujícím faktorem budou extrémní jevy, například bouře, povodně, vlny veder a extrémní sucha. Nárůst populace může mít za následek nedostatek potravin.

Změny hydrologického cyklu mohou výrazně zvýšit úmrtí spojených s nedostatkem kvalitní pitné vody. Jak nedostatek vody, tak přebytek v podobě záplav způsobují snížení kvality vody. V jejímž důsledku se rozšiřují různá infekční onemocnění. Nedostatek vody má za následek zhoršení hygienických podmínek, zatímco záplavy pitnou vodu kontaminují. Vysokou mortalitu především u malých dětí má na svědomí průjmové onemocnění. Zaplavení pobřežních oblastí bude mít nepříznivý vliv nejen migrací obyvatelstva, ale zasolí další zdroje pitné vody. Nedostatek pitné vody se projeví i nižšími zemědělskými výnosy. Může dojít i k sociálním nepokojům způsobených migrací obyvatel.

Zmenšení ozonové díry způsobuje rakovinu kůže, šedý zákal a další oční onemocnění. Potlačuje také obranné reakce imunitního systému. Účinky záření se mohou projevit i poškozením plodin, a výskytem škodlivého troposférického ozonu.

Stále zhoršující se kvalita ovzduší se projeví nárůstem alergenů, což bude mít následný vliv na stále častější onemocnění dýchacích cest. Snížení emisí z uhelných elektráren, a použití jiné technologie výroby energie, by mělo za následek oddálení tisíce úmrtí v důsledku znečištění ovzduší. Zároveň by to mělo kladný vliv na nižší výskyt astmatických záchvatů, výskyt chronické bronchitidy, srdečních problémů. To pak bude mít kladný vliv nejen na zdraví lidí ale i ekonomické hledisko, drahých léků, léčebných výloh a snížení pracovní neschopnosti. [27]

Zvýšení teploty může mít vliv na nárůst infekčních onemocnění, některé choroby se v budoucnu mohou objevit i v místech kde se doposud nevyskytovaly, nebo z některých území vymizely. V současné době nelze předpovědět jaké oblasti

a s jakým účinkem budou touto hrozbou zasaženy. Zvýšený výskyt chorob bude podpořen i náhlými výskytmi extrémních teplot. Zvýšená mortalita se vyskytuje během obou teplotních extrémů. Tato období veder a náhlých ochlazení budou přispívat k úmrtnosti, a to díky jejich stále se zkracující frekvenci čím dál více. Sezónní výskyt některých chorob je úzce spjat s výkyvy počasí. U nás můžeme poukázat především na epidemická onemocnění chřipky nebo meningokokové meningitidy. Zvýšení teploty velmi výrazně ovlivní přenašeče malárie. Tyto přenašeči totiž potřebují pro svůj vývoj teploty minimálně 15 °C. Delší vegetační období prodlouží období výskytu i některých druhů živočichů, které přenáší nemoci. Prodlouží se tak například i výskyt klíštěte ve střední Evropě, a tím se zvýší počet nakažených klíšťovou encefalitidou.

Zvýšení koncentrace CO₂ podporuje k růstu fytoplanktonu a živočichů kteří se jím živí. Zvýšený růst řas a sinic podpoří i takové druhy, které jsou toxické. Konzumace mořských živočichů kontaminovaných těmito toxiny může u člověka způsobit otravu. Celosvětově tyto otravy jsou odhadnuty na 60 000 lidí ročně. [10, 27]

8. Budoucí vývoj emisí CO₂ a klimatických změn

8.1. Politická stanoviska na snižování emisí CO₂

Potřeba snížit emise oxidu uhličitého vedla v roce 1998 k mezivládní rámcové úmluvě Organizace spojených národů. V roce 2005 vstoupil v platnost tzv. Kjótský protokol, který zavázal jednotlivé státy k omezení emisí, v jejichž důsledku dochází ke klimatickým změnám. Ne všechny státy s dohodou souhlasily. Problémem bylo a stále zůstává zapojení rozvojových zemí, které argumentují tím, že současnou situaci nezpůsobily a omezování emisí by ohrozilo jejich rozvoj. Tyto země však své roční emise zvyšují nezadržitelným tempem. Dokonce i některé rozvinuté státy dostaly výjimku, tudíž mohly své emise nadále zvyšovat. Například Austrálie a Island. Další státy, včetně USA poukazovaly především na ohrožení dalšího ekonomického růstu, kdy státy zavazující se protokolem budou ekonomicky oslabeny na trhu.

Teprve v roce 2007 po čtvrté zprávě IPCC se podařilo podepsání dohody o snížení emisí do roku 2050 o polovinu, a to včetně USA. Očekávání těchto jednání byla větší, bohužel většinou vyústila ve spory o odpovědnosti rozvinutých zemí za současný stav a protesty chudých zemí, které nemají dostatečné finanční prostředky na odstraňování emisí. Odborníci zase poukazují na nedostatečná opatření proti klimatickým změnám, neboť opatření proti emisím zatím nejsou zcela promyšlená a státy tak pravděpodobně své cíle nedokáží dodržet. V roce 2012 dojde k vypršení lhůty Kjótského protokolu, teprve pak bude jisté jak moc se jednotlivé země tímto problémem skutečně zabývaly a jak moc byly úspěšné v odstraňování emisí. Na druhou stranu je to první krok, díky němuž se začalo konečně o globálním oteplování jednat i na politické úrovni. [10, 27]

8.2. Technologická opatření na snižování emisí CO₂

Protože jsou fosilní paliva hlavním zdrojem energie, není možné počítat v následujících dvou třech desetiletích s eliminací jejich emisí, aniž by to nezpůsobilo kolaps světové ekonomiky. Nejprve musí být nalezena technologie, která by je dokázala účinně a levně nahradit. Vývoj takové technologie však zabere přinejmenším několik desetiletí. Zavádění nových technologií má totiž několik fází. V první řadě je výzkum a vývoj prototypů, poté následuje komerční vývoj, a v konečné fázi se technologie dostává na trh a koexistuje se stávajícími technologiemi.

Proto se v současné době většina výzkumu zabývá zdokonalováním současných technologií. V poslední době se staví elektrárny s tzv. kombinovaným cyklem. Jako zdroj energie využívají zemní plyn, a zvyšují energetickou účinnost. Ačkoli stále dochází ke zvyšování účinnosti fosilních paliv, tak v molekulách paliv je obsažen uhlík, který se při sloučení s kyslíkem přeměňuje na oxid uhličitý. Tudíž se při zdokonalování spalování emise CO₂ nesníží, převážně dojde k omezení koncentrace dalších látek ve fosilních palivech obsažených. [1] Celkového snížení emisí CO₂ lze dosáhnout zvýšením účinnosti technologie využívající fosilní paliva, omezením spotřeby, vyráběním energie pomocí bezemisní technologie a pomocí alternativních zdrojů nebo ukládáním CO₂ do dlouhodobých uložišť. [27]

Výroba energie technologiemi neprodukcujícími CO₂ je v současné době již dávno v provozu. V současnosti mají však jen doplňkovou úlohu. Patří sem jaderná

technologie a alternativní zdroje energie jako sluneční energie, větrná energie a energie vodních elektráren. Základním předpokladem alternativních zdrojů energie by měla být jejich efektivnost, a to nejen při užívání, ale i při jejich výrobě. Energie spotřebovaná při jejich výrobě musí být menší než energie kterou vygenerují během své životnosti. To platí především u slunečních a větrných elektráren. Sluneční energie je nevýhodná především kvůli denní, sezónní a místní proměnlivosti slunečního záření, nejvyšší potřeba energie je v zimě, kdy je však slunečního záření nejméně. Stejně tak větrné elektrárny jsou závislé na síle větru. Energie sluneční i větrná má sice obrovský globální potenciál, ale z prostorového hlediska má velmi nízkou hustotu. Energie z těchto obnovitelných zdrojů je omezená na prostor a podmínky dané podnebí, proto pokrývá velmi málo celkové energie.

Nejvíce energie z obnovitelných zdrojů produkuje vodní energie. Tento zdroj energie je čistý a nevytváří emise oxidu uhličitého. Její potenciál je však ve většině vyspělých zemích vyčerpán.

Biomasa tvořená zemědělskými a lesními zbytky a dalších organických odpadů, představuje základní zdroj energie především pro nevyvinuté ekonomiky. Tento zdroj energie lze však využít jen v malém rozsahu. V současnosti se však přikročilo k pěstování plodin určených k produkci energie. Tato produkce je však podle všeho ekonomicky nevýhodná. Nabízí se otázka, zda energie takto vzniklá není menší, než energie spotřebovaná na její výrobu, která pochází z fosilních paliv. Jejich pěstování také vyžaduje půdu, které je stále větší nedostatek, a která je tak vyčerpávaná. Lepší možností využití biomasy je zachytávání bioplynu vznikajícího na skládkách, což se jeví jako velmi efektivní možnost získávání tepla. Bioplyn na skládkách vzniká rozkladem organických látek. V současné době je uvolňován do atmosféry, kde přispívá ke zvyšování skleníkového efektu. Již nyní jsou v provozu některá zařízení, která bioplyn zachytávají a využívají jej jako zdroj tepla.

Mezi další obnovitelné zdroje neprodukující emise CO_2 patří termální energie oceánů, geotermální energie a energie přílivů. Tyto zdroje energie v současné době nehrají žádnou roli, neboť jejich celkový přínos na celosvětovou produkci energie je menší než 1%. [1, 9, 27]

Ideálním palivem budoucnosti by mohl být vodík. Při jeho využití k výrobě energie vzniká jen čistá voda. Bohužel k jeho výrobě potřebujeme primární energii, protože v přírodě neexistují jeho naleziště. Je tedy pokládán za sekundární zdroj energie, a jeho výroba by byla nákladná [1]

V současné době je technologií, která by mohla spalování fosilních paliv nahradit, technologie jaderná. Jaderných reaktorů lze v současné době napočítat 434 ve 32 zemích světa. Množství emisí CO_2 vyprodukovaných jadernou technologií se rovná nule. Jaderná energie založená na štěpení atomu je v současné době nejlepší řešení pro energetiku a snižování emisí CO_2 . Tato technologie však produkuje jaderný odpad a má spoustu odpůrců, kvůli riziku jaderného výbuchu. Bohužel právě kvůli hrozbě atomové katastrofy je tento zdroj energie stále méně oblíbený. Radioaktivní znečištění a hrozba jaderného výbuchu způsobily to, že v některých státech se jaderné elektrárny do budoucna stavět nebudou. K jejímu rozšíření by do budoucna mohlo napomoci právě zdražení energie získané z fosilních paliv. [1, 9, 27]

8.3. Zdroje energie v ČR

Výroba energie v České Republice byla v roce 2010 tvořena z 57 % uhlím, z 33 % jádrem, 4 % plynem a 6 % obnovitelnými zdroji. Z nichž má největší podíl vodní energie, biomasa, větrná energie a na posledním místě sluneční energie. V současné době jsou v České Republice v provozu dvě jaderné elektrárny: jaderná elektrárna Dukovany a jaderná elektrárna Temelín. Skupinou ČEZ je provozováno 15 elektráren uhelných. Přičemž jsou stále zdokonalovány technologie využití fosilních paliv. Zároveň se ČEZ angažuje na projektu CO₂ Euro Pipe, zabývajícím se problémem ukládání CO₂ v hlubinných suchozemských uložistiích a jeho ukládáním v kombinaci s podmořskou těžbou ropy a zemního plynu. Cílem projektu je ekonomicky a technicky zajistit transport a ukládání CO₂ ve střední Evropě. [42]

8.4. Klimatické modely

V současné době jsou jedinou možností k předvídání klimatických změn v budoucnu klimatické modely. Spolehlivost těchto modelů je však určena přesností vstupních dat. Doposud se upřesňují matematické popisy všech dějů, které se podílí na utváření klimatu. Ačkoli jsou klimatické modely neustále zpřesňovány, nejsou v současné době schopné podat objektivní informace o budoucím vývoji klimatu. Prozatím jsou však jedinou možností, jak budoucí klima studovat. IPCC vytvořilo několik scénářů pomocí počítačových simulací, které simulují podmínky vývoje budoucího klimatu a jejich vliv. Přesnost výsledků těchto scénářů závisí na hospodářském růstu, sociální rovnosti společnosti, demografickém přírůstku a technologických inovacích.

Matematické modely předpovídají zvýšení globální teploty do konce tohoto století o 1 až 3,5 °C. Zvýšení teploty však bude probíhat v různých geografických oblastech rozdílně. Nejvíce se projeví v zimních měsících a v zeměpisných šířkách blíže k pólům. Oblast s nejvyšším nárůstem teploty bude Arktida, a to především v zimním období. Podle všeho se noční teploty zvýší více, než teploty denní. V oblastech bohatších na vodu se bude urychlovat hydrologický cyklus, to bude znamenat více intenzivních srážek, zatímco oblasti na vodu chudé se budou potýkat s nedostatkem vody. Předpokládá se vyšší výskyt horkých dnů a snížení počtu dnů chladných. Do konce století by se hladiny oceánu mohly zvýšit o 15 až 90 cm. To bude mít katastrofální následky především pro ostrovní státy, které zmizí pod hladinou. Problémy nastanou i v deltách řek a nízkých pobřežních oblastech. Ačkoli se oteplování moří projevuje zpožděně za oteplením atmosféry, budou změny v oceánech pokračovat ještě dlouho poté, co se zvyšování teploty atmosféry zastaví. Ke zvýšení hladiny oceánu přispěje i objem vody, který se v důsledku oteplení zvětší. Zvýší se doba trvání a frekvence extrémních klimatických jevů. Především se jedná o srážky a období sucha. Doposud však nebylo prokázáno, zda tyto mimořádné klimatické výkyvy jsou skutečně důsledkem klimatických změn. [1, 10, 27, 47]

8.5. Budoucí vývoj klimatu

Rychlost změn ke které dochází v současnosti je velmi vysoká. V moderní historii je tato změna nevídaná. Živé organismy potřebují na přizpůsobení dostatek času. Pokud se však klima bude měnit stejnou rychlostí jako dnes, může dojít k hromadnému vymírání.[5]

V zemědělství nejsou do budoucna na globální úrovni předpokládány žádné velké potíže, potíže se očekávají lokálně. V jistých oblastech vznikne nadprodukce která vyváží nedostatečnou produkci. Rozvoj biotechnologií jde stále kupředu, proto lze očekávat, že se s postupným oteplováním bude lépe i adaptace na nové klimatické podmínky. [1]

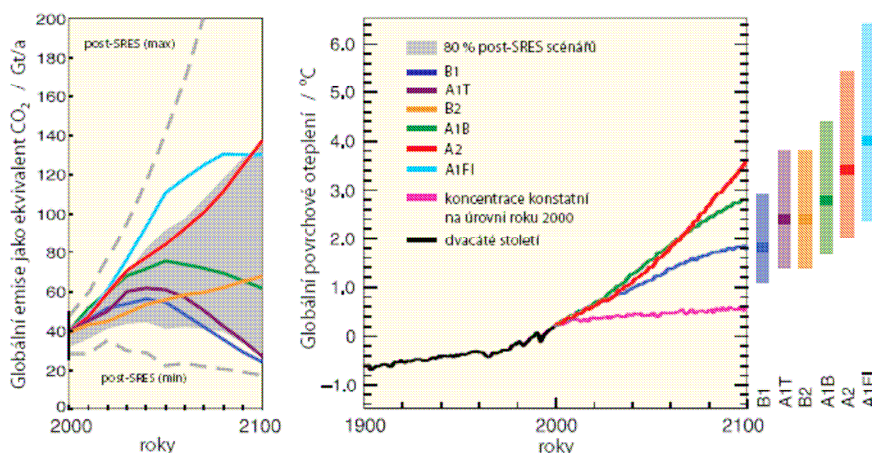
Z toho vyplývá, že rozvíjející se státy budou poškozeny mnohem více než státy vyspělé. Rozvojové země jsou chudé, nemají dostatečnou vzdělanostní a informační úroveň, postrádají dostatek informací a organizačních struktur potřebných k tomu, aby dokázaly předvídat vývoj situace a mohly se mu přizpůsobit. Tyto státy se budou hůře vyrovnávat s následky škod, a hůře budou přijímat opatření k jejich zmírnění či prevenci. Změna klimatu tak dále rozšíří rozdíl mezi vyspělými a zaostalými státy. [27]

Průměrná globální teplota poroste ještě další staletí, minimálně 50 let bude růst nezávisle na tom, jak nyní lidstvo na zvyšování emisí zareaguje. Zodpovědnost za škody vzniklé v tomto období emisemi skleníkových plynů by měly mít právě bohaté státy, které tyto emise vyprodukovaly. Tyto státy mají podíl na emisích skleníkových plynů mnohem větší než státy ostatní. Nesou totiž zodpovědnost nejen za emise minulé, ale i současné. Životnost CO₂ v atmosféře je delší než jedno století, proto mají v současné době největší podíl na emisích právě státy rozvinuté. Zatímco v současné době některé vyspělé státy své emise snižují, rozvojové státy jako Čína a Indie budou do budoucna produkovat emisí stále více. [1] Ke snižování emisí může přispět každý. A to nejen díky ekologickému bydlení či výměnou vozu na benzín za elektrovozidlo. Aktivní účast na snižování koncentrace skleníkových plynů lze podpořit i vhodnou skladbou vašeho jídelníčku. Ano, již dnes skutečně existují rozbory jídel, které jsou přepočítány na emise CO₂. Obecně je známo, že zdravý životní styl je na emise CO₂ méně náročný. Cokoli co nyní vykonáme nebude mít sice vliv na příštích 50 let, ale ovlivní to především druhou polovinu 21.století. [1, 27]

Důsledky změny klimatu budou, a v současné době jsou, nepřímé. Tyto dopady budou mít negativní vliv především na naše zdraví, výživu a další vymoženosti civilizace. [8]

Graf 14. Scénáře emisí skleníkových plynů v období od roku 2000 do roku 2100

Scénáře emisí skleníkových plynů v období od roku 2000 do roku 2100 (v případě neexistence dalších klimatických politik) a projekce povrchových teplot



Levé schéma: Globální emise skleníkových plynů (vyjádřené v ekvivalentním CO₂) při absenci politik ochrany klimatu. Šest ilustrativních scénářů SRES. Emise zahrnují CO₂, CH₄, N₂O a fluorované uhlovodíky.

Pravé schéma: Plné čáry představují globální průměry oteplení povrchu podle více modelů pro scénáře SRES. Tyto projekce berou v úvahu také emise skleníkových plynů s krátkou životností a emise aerosolů.

Růžová čára není scénář, ale znázorňuje simulace AOGCM (obecné cirkulační modely ovzduší-oceán), v nichž byly koncentrace fixovány na úrovni hodnot roku 2000. Sloupce vpravo znázorňují nejlepší odhad (plná čára v každém sloupečku) a *pravděpodobný* rozsah odhadovaný pro šest scénářů SRES v období 2090 – 2099. Všechny teploty jsou vztaženy k období 1980 – 1999.

Zdroj: www.ipcc.ch

9. Závěr

Problém globálního oteplování na základě zvýšené koncentrace CO₂ je problémem celosvětovým. Atmosféra je součástí složitého klimatického systému, který se vytvořil před miliony let a od té doby se udržoval v rovnováze. Tento systém citlivě reaguje na jakékoli výkyvy včetně antropogenní činnosti. V současné době se koncentrace atmosférických plynů mění, neboť člověk narušuje přirozený koloběh uhlíku, a to především pálením fosilních paliv. Za jediný rok naše civilizace spálí kolem 450 let zkamenělého slunečního svitu. Je škoda, že jsou tyto fosílie využívány jen jako zdroj energie, neboť v budoucnu by mohly mít mnohem větší cenu.

Růst koncentrace CO₂ je v současnosti dobře zdokumentován, a o vztahu mezi koncentrací CO₂ a globální teplotou nelze pochybovat. Následkem globálního oteplování dochází ke změnám klimatu, což znamená posun v teplotách, srážkách, větru a dalších jevech. Intenzita a míra klimatických změn se mění region od regionu. Ačkoli se Země oteplila v průměru o necelý jeden stupeň Celsia, ve skutečnosti na některých místech planety je teplota o několik stupňů vyšší a v jiných došlo naopak k ochlazení. Základními změnami klimatu jsou především zvýšená teplota povrchu země, tání vysokohorských a pevninských ledovců, a s tím související zvýšení hladiny moře. Jsou zde ale i další skutečnosti, které zatím nejsou zcela prokazatelné, a to především zvyšování frekvence mimořádných klimatických událostí, nebo reakce živých organismů na prodloužení vegetačního období. Tyto klimatické změny jsou patrné časnějším nástupem teplých jarních dní a opožděným ochlazením na podzim. Potvrzují je nejen měření teploty, ale také chování živých organismů a jsou dobře dokumentovány fenologickým měřením.

Většina prognóz se shoduje v tom, že v důsledku zvýšené koncentrace skleníkových plynů bude docházet alespoň k mírnému globálnímu oteplování. Tato perspektiva budoucnosti není příliš pozitivní, a to především proto, že se většina biosféry adaptovala na současný stav, který je pro ni v této podobě optimální. Každá byť jen nepatrná změna by pro ni mohla mít negativní vliv. Změna vegetace a přirozeného prostředí by mohla způsobit hromadné vymírání živočichů, v jejímž důsledku by došlo ke snížení přirozené biodiverzity. Je třeba si uvědomit, že ačkoli lidstvo nebude v nejbližší době ohroženo zvýšenou koncentrací CO₂ přímým způsobem, bude čelit stále častěji následkům nepřímým. Tání ledovců, zvyšování hladiny moří, změna hydrologického cyklu, vlny extrémních veder a častější přírodní katastrofy současně s explozivním růstem obyvatel, budou ovlivňovat stále vyšší počet lidí.

Pokud lidstvu nedojde včas, jak je riziko globálního oteplení nebezpečné a nezačne ihned jednat, může čelit následkům, které si v současnosti nedokáže ani představit. Bohužel z ekonomických důvodů je upuštění od fosilních paliv nemožné, neboť náhlý zákaz veškerých emisí by znamenal krach světové ekonomiky, protože neexistuje jiný zdroj energie, který by je dokázal dostatečně nahradit. V současnosti by tak stačilo emise snížit a udržet na určité úrovni tak, aby oteplování a zvyšování hladiny moře nebylo natolik rychlé. Život je velmi flexibilní a pokud by měl dostatek času, dokázal by se ve většině postupně adaptovat. Nezáleží tolik na rozsahu změn jako na rychlosti změny klimatu, která zvyšuje teplotu i hladiny moří. Ačkoli si v budoucnu vyspělé země dají za cíl tyto emise snížit, a vynaloží proto mnoho prostředků, je otázkou jak ke stejnému úsilí donutit země rozvojové. Jedny z nejvyšších emisí má v současné době Čína a Indie. Snižování emisí však není jejich zájmem. Tyto země chtějí především ekonomický

růst, díky kterému by se vymanily z chudoby a přiblížily se vyspělým státům. Není však na místě tyto země pouze kritizovat, a to právě proto že se velká část průmyslové výroby vyspělých zemí přesunula do rozvojového světa, může za vznik většiny emisí v rozvojových zemích opět svět vyspělý. Pokud tedy chceme snížit emise, měli bychom si dát za cíl snížit nejen jejich produkci, ale také jejich spotřebu.

Země je velmi složitý systém propojený značným počtem vazeb, její odezva na globální oteplení se projevuje se zpožděním, právě díky její velké kapacitě. Klimatický systém se i po ukončení zvyšování koncentrace emisí CO₂, bude nadále oteplovat. Změny globálního klimatu jsou nevyhnutelné, ať v současnosti uděláme cokoli, naše současné konání se projeví až v druhé polovině tohoto století. Dosud nejsou známa všechna propojení zemských subsystémů. Je sice možné, že si Země během svého vývoje vytvořila dostatečně pružné systémy zpětných vazeb, které umožňují celkem stabilní složení atmosféry v rámci určitých limitů, ale v určitém bodě může dojít ke zhroucení celého systému díky narušení přirozené rovnováhy. Roční přírůstky koncentrace CO₂ se zvyšují a následně průměrná globální teplota vzrůstá. Její růst zesiluje účinek kladných zpětných vazeb, které zesilují primární příčiny oteplování. Vědci se nejvíce obávají především uvolňování hydrátů metanu z permafrostu a ze dna oceánů. Po celém světě byla objevena rozsáhlá uložiska hydrátů, která by po svém uvolnění náhle dokázala oteplít planetu i o několik stupňů. Potom by už na míře emisí vytvořených lidskou činností pravděpodobně přestalo záležet.

Při studiu publikací potřebných k vypracování této práce, jsem se setkala s velkým množstvím prací popírajících globální oteplování. Autoři těchto prací, kteří jsou většinou z řad politiků a ekonomů, si neuvědomují, že pokud by skutečně neovlivňovali v současné době emise CO₂ globální teplotu, stejně se zvyšování těchto emisí někde odrazit musí. Zatím jsme si toho ani nemuseli všimnout, vždyť i otázka globálního oteplování je poměrně nová. Právě proto by se mělo na výzkumu, vlivu koncentrace a snížení emisí CO₂, pokračovat, neboť jakýkoli zásah do křehkého ekosystému může znamenat nevratné změny. Důsledkům globálního oteplování nebudou pravděpodobně čelit naše generace, ale generace následující. Máme vůči nim určitou etickou a morální povinnost, a právě proto bychom je neměli nechat na pospas svému osudu.

10. Seznam literatury

1. **Barros, V., 2006:** Globální změna klimatu. Nakladatelství Mladá Fronta, Praha
2. **Braniš, M., Hůnová, I., 2009:** Atmosféra a klima – Aktuální otázky ochrany ovzduší. Univerzita Karlova v Praze, Praha
3. **Centrum pro ekonomiku a politiku, 2008:** Sborník textů: Globální oteplování – Realita nebo bublina? Centrum pro ekonomiku a politiku, Příbram
4. **ČHMÚ, 2010:** Znečištění ovzduší na území České Republiky v roce 2009. Český hydrometeorologický ústav, Praha
5. **Flannery, T., 2007:** Měníme podnebí – minulost a budoucnost klimatických změn. Vydavatelství Dokořán, Praha
6. **Greenpeace, 1992:** Nebezpečí oteplování Země. Academia Praha
7. **Hajn, V., 1996:** Ekologie člověka. Vydavatelství Univerzity Palackého
8. **Charles University Environment Center, 2000:** Czech Republic 2000 – Ten years on: Environment and quality of life after ten years of transition. Charles University, Praha
9. **Kadrnožka, J., 2006:** Energie a globální oteplování. VUTIUM Brno
10. **Kadrnožka, J., 2006:** Země se ubrání. Akademické nakladatelství CERM s.r.o.Brno
11. **Kalvová, J., Kašpárek, L., Janouš, D., Žalud, Z., Kazmarová, H., a kol., 2002:** Scénáře změny klimatu na území České Republiky a odhady dopadů klimatické změny na hydrologický režim, sektor lesního hospodářství a na lidské zdraví v ČR, Národní klimatický program České Republiky, Praha
12. **Kutílek, M., 2008:** Racionálně o globálním oteplování. Vydavatelství Dokořán, Praha
13. **Lawson, N., 2009:** Vraťme se k rozumu. Vydavatelství Dokořán, Praha
14. **Metelka, L., Vaníček, K., Kliegrová, S., 2005:** Application of neural models for simulations of total ozone in the European region. Český hydrometeorologický ústav, Praha
15. **Metelka, L., Tolasz, R., 2009:** Klimatické změny: Fakta bez mýtů. Univerzita Karlova v Praze. Vydavatelství Karolinum, Praha
16. **Moldan, B., 1983:** Koloběh hmoty v přírodě. Akademia Praha
17. **Moldan, B., 2001:** (Ne)udržitelný rozvoj ekologie hrozba i naděje. Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum, Praha
18. **Moldan, B., 2001:** Ekologická dimenze udržitelného rozvoje. Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum, Praha
19. **Moldan, B., a kol., 1997:** Ekonomické aspekty ochrany životního prostředí. Univerzita Karlova v Praze, Vydavatelství Karolinum, Praha
20. **Moldan, B., Kalvová, J., 1996:** Klima a jeho změna v důsledku emisí skleníkových plynů. Univerzita Karlova v Praze, Vydavatelství Karolinum, Praha
21. **Národní klimatický program ČR, 2001:** Výzkum dopadů klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na ČR. Národní klimatický program, Praha
22. **Národní klimatický program, 1994:** Carbon dioxide and methane emissions in the Czech Republic, Národní klimatický program, Praha
23. **Národní klimatický program Slovenskej Republiky, 1994:** NKP 1/94. Bratislava

24. **Nátr, L., 1998:** Rostliny, lidé a trvale udržitelný život člověka na Zemi. Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum, Praha
25. **Nátr, L., 2000:** Koncentrace CO₂ a rostliny. Nakladatelství ISV, Praha
26. **Nátr, L., 2005:** Rozvoj trvale neudržitelný. Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum, Praha
27. **Nátr, L., 2006:** Země jako skleník – Proč se bát CO₂? Akademia Praha
28. **Nemešová, I., Pretel, J., 1998:** Skleníkový efekt a životní prostředí. Ministerstvo životního prostředí ve spolupráci s Českým hydrometeorologickým ústavem a Ústavem fyziky atmosféry AV ČR
29. **Roberts, N., 2004:** The Holocene. UK Blackwell Publishing, London
30. **Ainsworth, E. A., Long, S. P., 2005:** What have we learned from fifteen years of free air CO₂. *New Phytologist* 165, str. 351 – 372
31. **Bahk, J. J., Kang, C. Y., Khim, B. K., Yoon, H. I., 2002:** Unstable climate oscillation during the Late Holocene in the eastern Bransfield Basin, Antarctic Peninsula. *Quaternary Res.* 58, str. 234 – 245
32. **Berner, R. A., 1997:** Paleoclimate – The rise of plants and their effect on weathering and atmospheric CO₂. *Science* 276, str.544 – 546
33. **Deck, B., Fisher, H., Wahlen, M., Smith, J., Mastroianni, D., 2000:** Ice core records of atmospheric CO₂ around the last three glacial terminations. *Science* 283, str.1712-1714
34. **Essenhigh, R. H., 2001:** Does CO₂ really drive global warming? *Chem. Innovation* 31, str. 44 – 46
35. **Christensen, E., Lassen, K., 1991:** Length of the solar cycle: an indicator of solar activity closely associated with climate. *Science* 254, str. 698 – 700
36. **Kerr, R. A., 2004:** Carbon budget not so out of whack. *Science* 208, str. 1358 – 1359
37. **Langenbuch, M., Portner, H. O., Reipschlager, A., 2000:** Biological impacts of elevated ocean CO₂ concentrations - Lessons from animal physiology and Earth history. *Journal of oceanography*
38. **Lovelock, J. E., Whitfield, M., 1982:** Life span of biosphere. *Nature* 296, str. 561 – 563
39. **Ložek, V., 2001:** Přírozené změny podnebí. *Vesmír*, str. 146 – 152
40. **Rožnovský, J., 2011:** Možné dopady měnícího se klimatu na zemědělství v ČR. *Bio zpravodaj*, online. www.bioinstitut.cz, 15.4.2011
41. <http://gnosis9.net/>
42. <http://www.cez.cz>
43. <http://www.CO2science.org>
44. <http://www.co2science.org/>
45. <http://www.cru.uea.ac.uk> - Climate Research Unit
46. <http://www.chmi.cz>
47. <http://www.ipcc.ch/>
48. <http://www.klimaskeptik.cz>

11. Přílohy

Seznam příloh:

- Příloha č.1** - Příklady možných dopadů klimatických změn podle sektorů, vycházející z projekcí do poloviny až konce 21. století
- Příloha č.2** – Graf vývoje emisí CO₂ podle sektorů v EU v období 1990 – 2007
- Příloha č. 3** – Graf emisí CO₂ v EU v roce 2007
- Příloha č. 4** – Graf vývoje emisí CO₂ pro období 1990 – 2007 v ČR
- Příloha č. 5** – Graf emisí CO₂ v ČR v roce 2007
- Příloha č. 6** – Teplota a koncentrace CO₂ ze stanic Vostok a Eppica v Antarktidě v období před 800 000 lety až po současnost
- Příloha č. 7** - Porovnání rozsahu arktického mořského ledu v létě roku 1979 a v létě 2005.
- Příloha č. 8** – Nárůst koncentrace CO₂
- Příloha č. 9** – Změny globální teploty. Vlevo: 1880-1889. Vpravo: 2000-2009.
- Příloha č. 10** – Mýcení a vypalování deštných pralesů
- Příloha č. 11** – Sopečná erupce uvolňující tisíce aerosolových částic
- Příloha č. 12** – Klatráty metanu na mořském dně a hořící klatrát metanu
- Příloha č. 13** – Zhoršení kvality vody a zarůstání jezera Ichkeul v Tunisku. Nahoře listopad 2001, dole červenec 2005
- Příloha č. 14** – Zmenšení rozlohy Čadského jezera v Africe. Vlevo 1972. Vpravo 2002. Snížení hloubky jezera vytvořilo z jeho okrajů močály (zobrazené červenou barvou).
- Příloha č. 15** – Turismus na Antarktidě.
- Příloha č. 16** – Tání ledovců

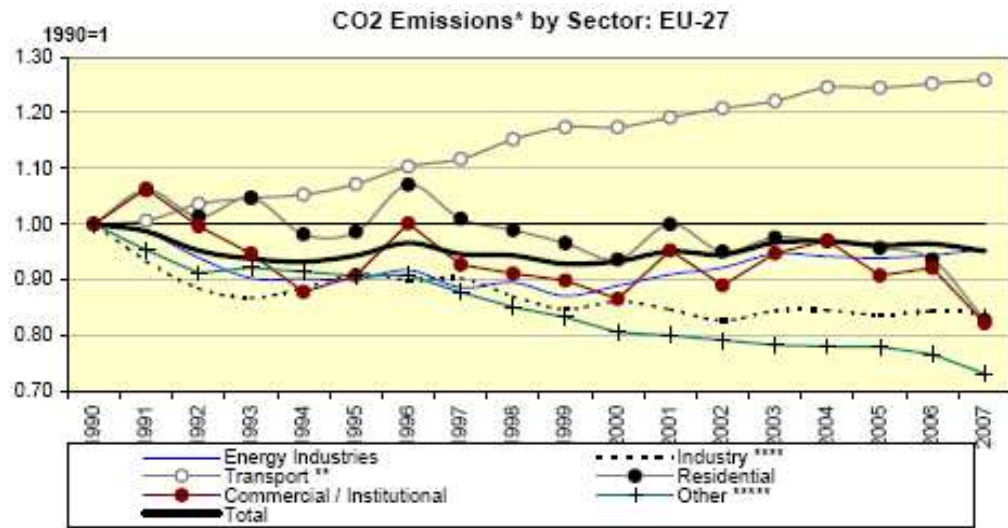
Příloha č.1 - Příklady možných dopadů klimatických změn podle sektorů, vycházející

z projekcí do poloviny až konce 21. století

Jev ^a a směr trendu	Pravděpodobnost budoucích trendů dle projekcí pro 21. století s použitím scénářů SRES	Příklady hlavních dopadů podle sektorů			
		Zemědělství, lesnictví a ekosystémy	Vodní zdroje	Lidské zdraví	Průmysl, sídla, společnost
Teplejší, méně časté chladné dny a noci; teplejší, častější horké dny a noci ve většině pevninských oblastí	<i>Prakticky jisté^b</i>	Vyšší výnosy v chladnějších prostředích; nižší výnosy v teplejších prostředích; zvýšený epizodický výskyt hmyzu	Vliv na vodní zdroje závislé na tání sněhu; vlivy na některé zásoby vod	Snížená úmrtnost v lidské populaci v důsledku menšího vystavení chladu	Snížená poptávka po energii k vytápění; zvýšená poptávka po chlazení; zhoršující se kvalita ovzduší ve městech; nižší narušení dopravy způsobené sněhem, ledem; dopady na zimní cestovní ruch
Období tepla / vlny veder. Zvýšení četnosti ve většině pevninských oblastí	<i>Velmi pravděpodobné</i>	Nižší výnosy v teplejších regionech v důsledku tepelného stresu; zvýšené nebezpečí požárů	Zvýšená poptávka po vodě; problémy s kvalitou vody, např. kvetení vody	Zvýšené riziko úmrtnosti spojené s vedrem, hlavně u osob starších, chronicky nemocných, velmi mladých a sociálně izolovaných	Snížení kvality života obyvatel bez přiměřeného bydlení v teplejších oblastech; dopady na starší, velmi mladé a chudé obyvatele
Intenzivní srážkové jevy. Zvýšení četnosti ve většině pevninských oblastí	<i>Velmi pravděpodobné</i>	Poškození úrody; eroze půdy, neschopnost obdělávat půdu v důsledku jejího podmáčení	Nepříznivé dopady na kvalitu povrchových a podzemních vod; znečištění dodávek vody; nedostatek vody se může zmírnit	Zvýšené riziko úmrtí, zranění, infekcí, respiračních a kožních chorob	Narušení sídel, obchodu, dopravy a společností následkem záplav; tlaky na městskou a venkovskou infrastrukturu; ztráty majetku
Zvětšení ploch zasažených suchem	<i>Pravděpodobné</i>	Zhoršení stavu půdy, nižší výnosy / poškození úrody a neúroda; zvýšený úhyn dobytka; zvýšené riziko požárů	Větší rozšíření vodního stresu	Zvýšené riziko nedostatku potravin a vody; zvýšené riziko podvýživy; zvýšené riziko nemocí z potravin a vody	Nedostatek vody pro sídla, průmysl a společnost; snížení potenciálu výroby elektřiny z vodních zdrojů; potenciál pro migraci obyvatel
Zvýšení aktivity intenzivních tropických cyklón	<i>Pravděpodobné</i>	Poškození úrody; polomy; poškození korálových útesů	Narušení dodávek vody z veřejné sítě v důsledku výpadků elektrického proudu	Zvýšené riziko úmrtí, zranění, nemocí z potravin a vody; poruch způsobených post-traumatickým stresem	Narušení způsobená záplavami a silnými větry; trend soukromých pojišťoven odstupovat od smluv na pojištění rizik ve zranitelných oblastech, potenciál pro migraci obyvatel, ztráty majetku
Zvýšený výskyt extrémně vysoké hladiny moře (vyjma tsunami) ^c	<i>Pravděpodobné^d</i>	Zasolování vody k zavlažování, ústí řek a sladkovodních systémů	Snížená dostupnost sladké vody v důsledku vniku slané vody	Zvýšené riziko úmrtí a zranění z důvodu utonutí během záplav; zdravotní dopady související s migrací	Náklady na vybudování ochrany v pobřežních oblastech versus náklady spojené s přemístěním / přesídlením; potenciál pro stěhování obyvatelstva a infrastruktury; viz též výše uvedené tropické cyklóny

Zdroj: www.ipcc.cz

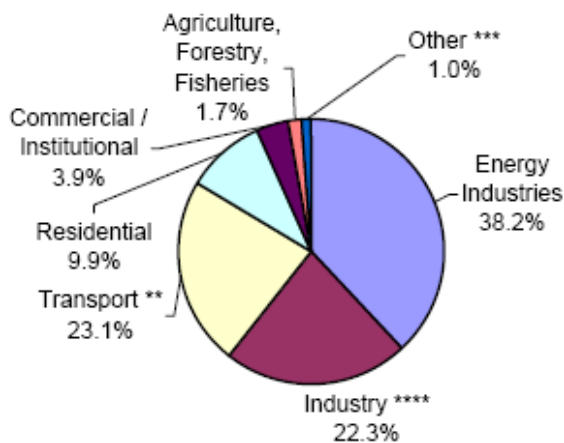
Příloha č.2 – Graf vývoje emisí CO₂ podle sektorů v EU v období 1990 – 2007



Zdroj:http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/statistics/ext_co2_emissions_by_sector.pdf

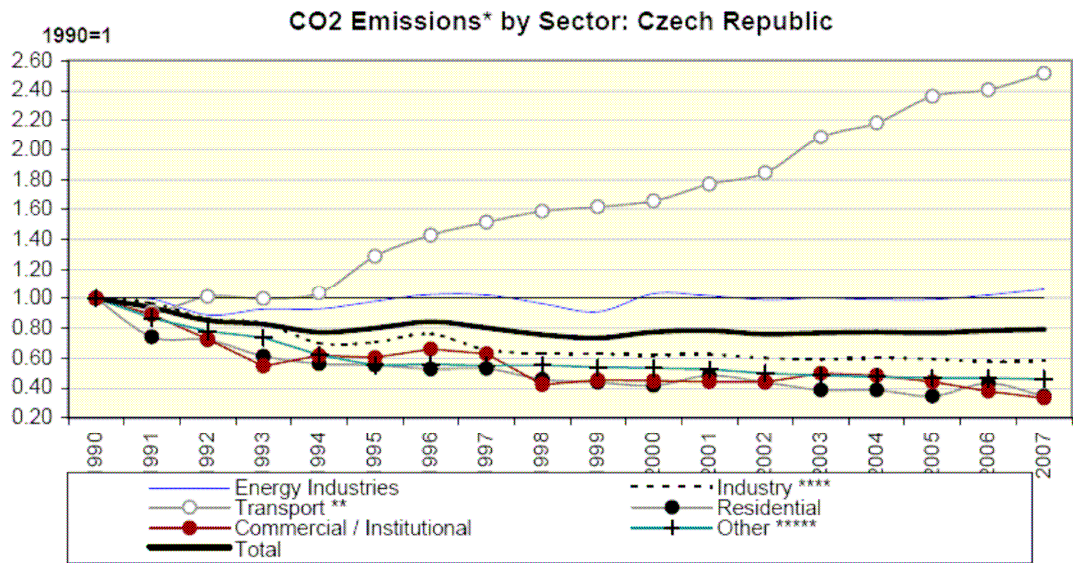
Příloha č. 3 – Graf emisí CO₂ v EU v roce 2007

CO2 Emissions* by Sector: EU-27 (Shares of Total CO2 Emissions: 2007)



Zdroj:http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/statistics/ext_co2_emissions_by_sector.pdf

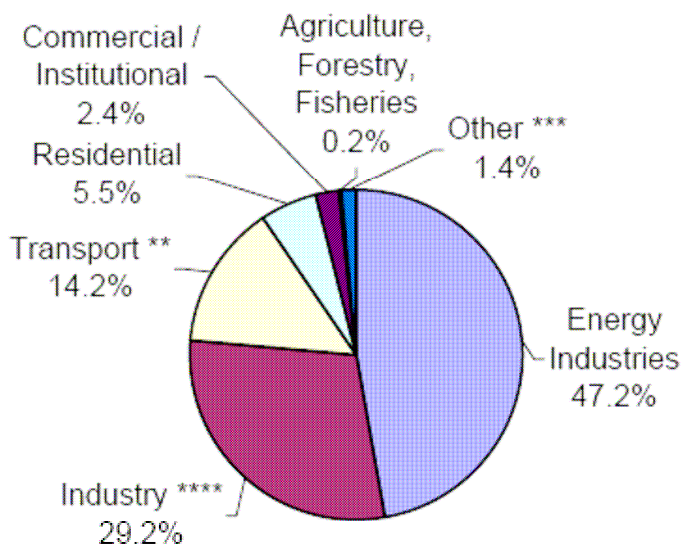
Příloha č. 4 – Graf vývoje emisí CO₂ pro období 1990 – 2007 v ČR



Zdroj: http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/statistics/ext_co2_emissions_by_sector.pdf

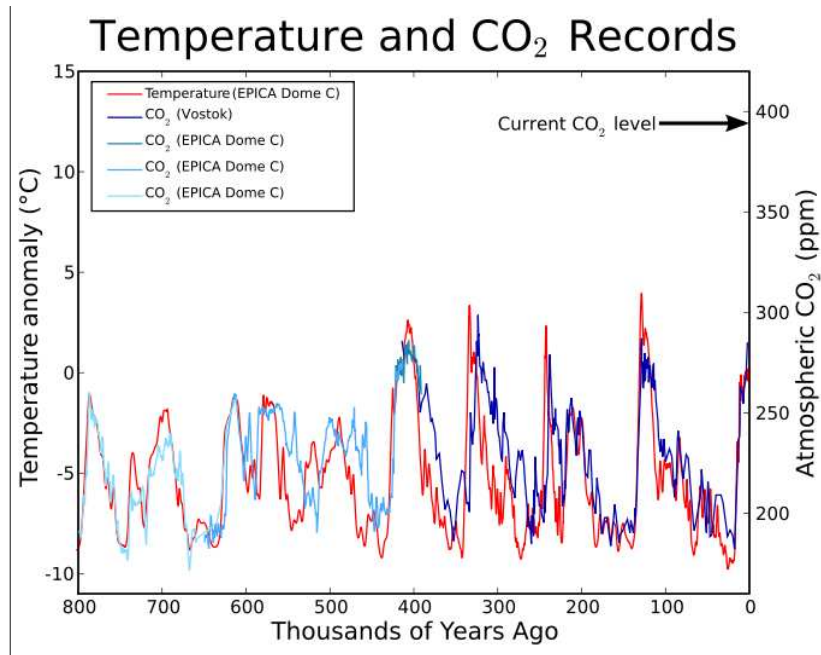
Příloha č. 5 – Graf emisí CO₂ v ČR v roce 2007

**CO₂ Emissions* by Sector: Czech Republic
(Shares of Total CO₂ Emissions: 2007)**



Zdroj: http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/statistics/ext_co2_emissions_by_sector.pdf

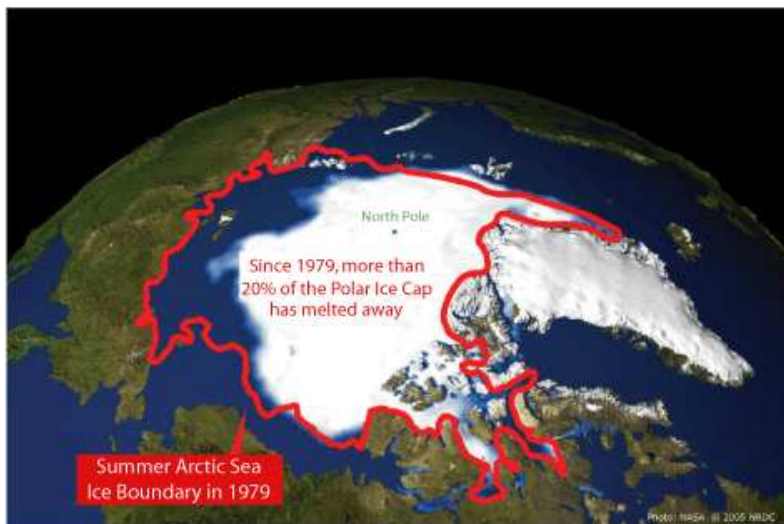
Příloha č. 6 – Teplota a koncentrace CO₂ ze stanic Vostok a Epica v Antarktidě v období před 800 000 lety až po současnost



Zdroj: <http://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.55501>

Příloha č. 7 - Porovnání rozsahu arktického mořského ledu v létě roku 1979 a v létě 2005.

Summer Arctic Sea Ice Decline

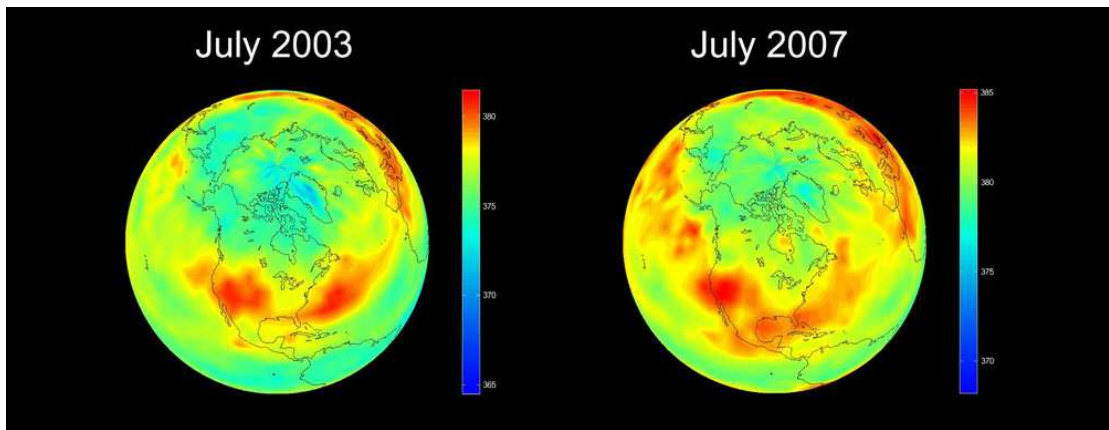


Source: NASA & Natural Resources Defense Council

Od roku 1979 lze pozorovat více než 20% úbytek polární ledové čepice.

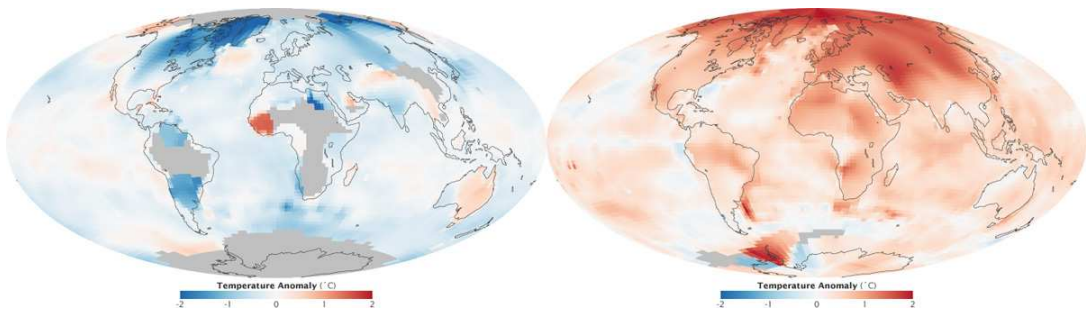
Zdroj: www.nasa.gov - Natural Resources Defence Council

Příloha č. 8 – Nárůst koncentrace CO₂



Zdroj: www.nasa.gov

Příloha č. 9 – Změny globální teploty. Vlevo: 1880-1889. Vpravo: 2000-2009.



Průměrná povrchová teplota Země se zvýšila o 0,7 °C od roku 1880. Od roku 1975 se otepluje rychlostí až 0,2 °C za desetiletí. Tato studie byla pořízena analýzou výsledků z meteorologických stanic po celém světě, z výzkumných stanic na Antarktidě, ze satelitního pozorování a povrchových teplot moří naměřených z lodí.

Zdroj: www.nasa.gov - NASA Goddard Institute for Space Studies

Příloha č. 10 – Mýcení a vypalování deštných pralesů



Zdroj: www.peníze.cz

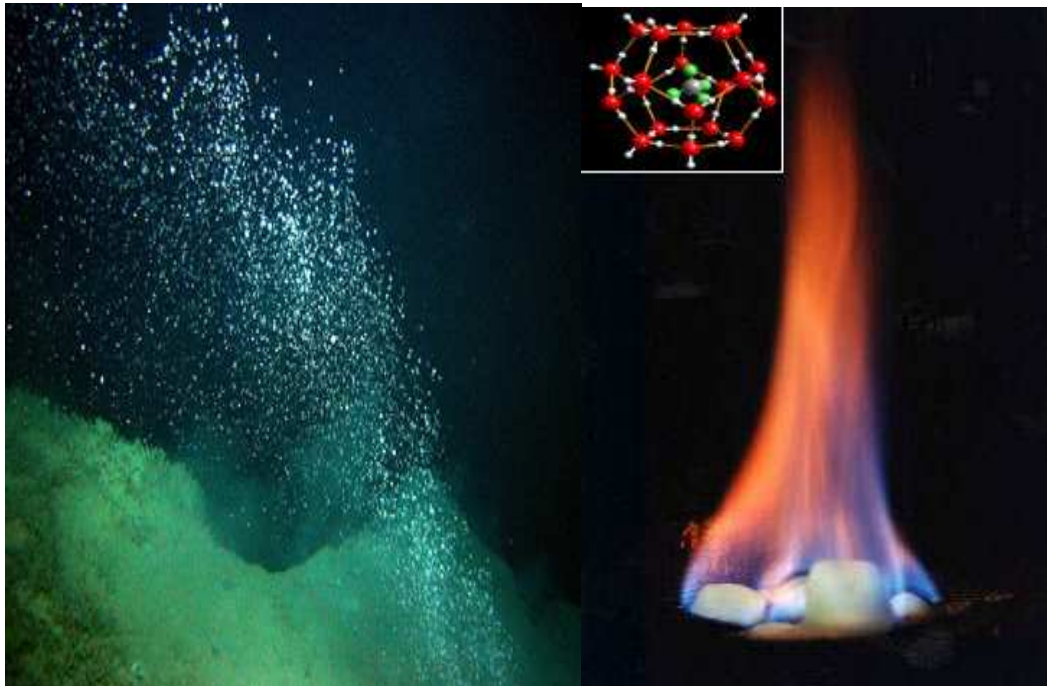


Zdroj: www.koktejl.cz

Příloha č. 11 – Sopečná erupce uvolňující tisíce aerosolových částic



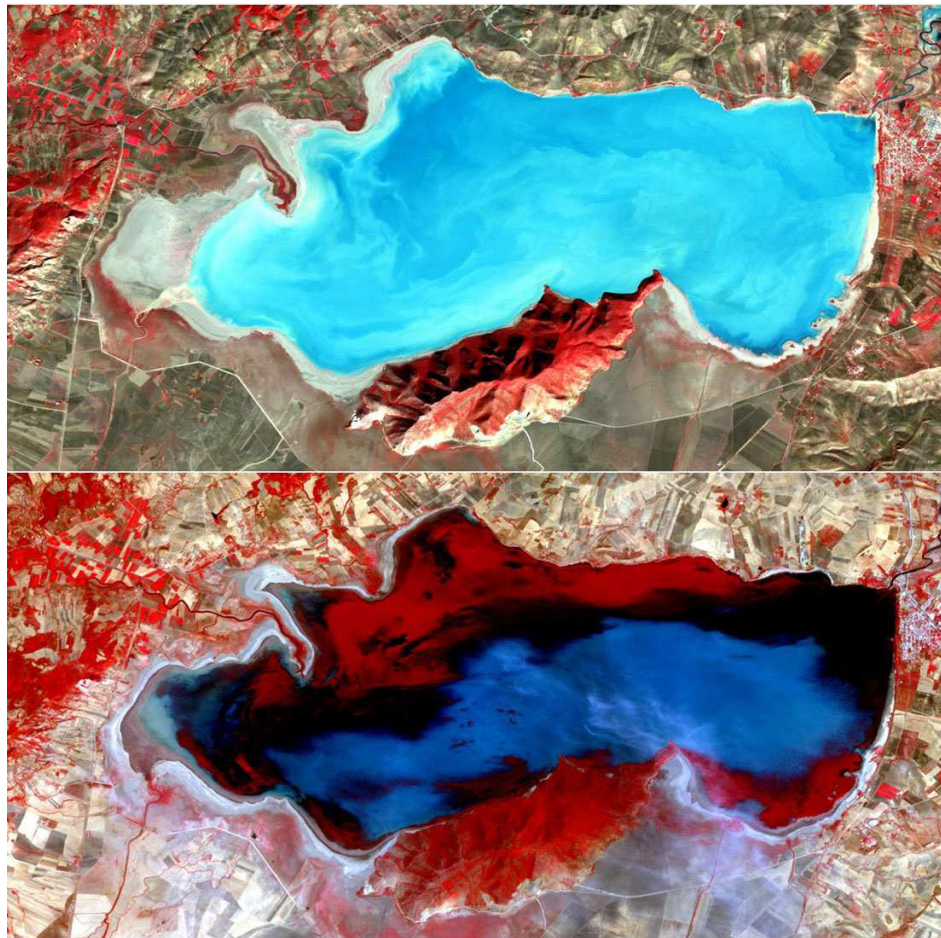
Příloha č. 12 – Klatráty metanu na mořském dně a hořící klatrát metanu



Zdroj: www.wikipedia.cz

Příloha č. 13 – Zhoršení kvality vody a zarůstání jezera Ichkeul v Tunisku. Nahoře listopad

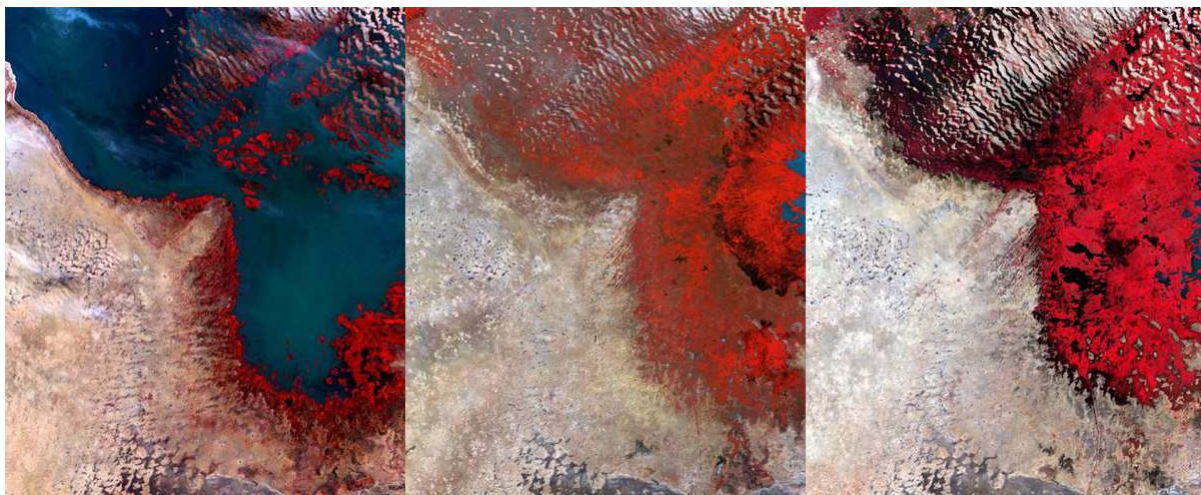
2001, dole červenec 2005



Ačkoli je hladina vody vyšší, velká část jezera je na snímku zobrazena červeně, kvůli přítomnosti vodních rostlin. Jezero Ichkeul a mokřady jsou hlavní zastávkou pro statisíce stěhovavých ptáků, kteří odtud míří do hnízdišť. Jedná se o poslední jezero v severní Africe. V důsledku výstavby tří přehrad na řekách se zde zhoršila kvalita vody. Tuniská vláda hodlá podniknout různá opatření k udržení sladké vody v jezeře a snížit jeho slanost, neboť by to mohlo mít vliv na přežití tisíců ptáků.

Zdroj: www.nasa.gov

Příloha č. 14 – Zmenšení rozlohy Čadského jezera v Africe. Vlevo 1972. Vpravo 2002.



Snížení hloubky jezera vytvořilo z jeho okrajů močály (zobrazené červenou barvou).

Zdroj: www.nasa.gov

Příloha č. 15 – Turismus na Antarktidě.



Zdroj: <http://www.antarctica.gov.au/about-antarctica/tourism>

Příloha č. 16 – Tání ledovců



Bear Glacier, Aljaška, USA



Okpilak Glacier, Aljaška, USA. Vlevo 1907. Vpravo 2004.



Ledovec Helheim, Grónsko. Vlevo březen 2001. Uprostřed červenec 2003. Vpravo červen 2005.



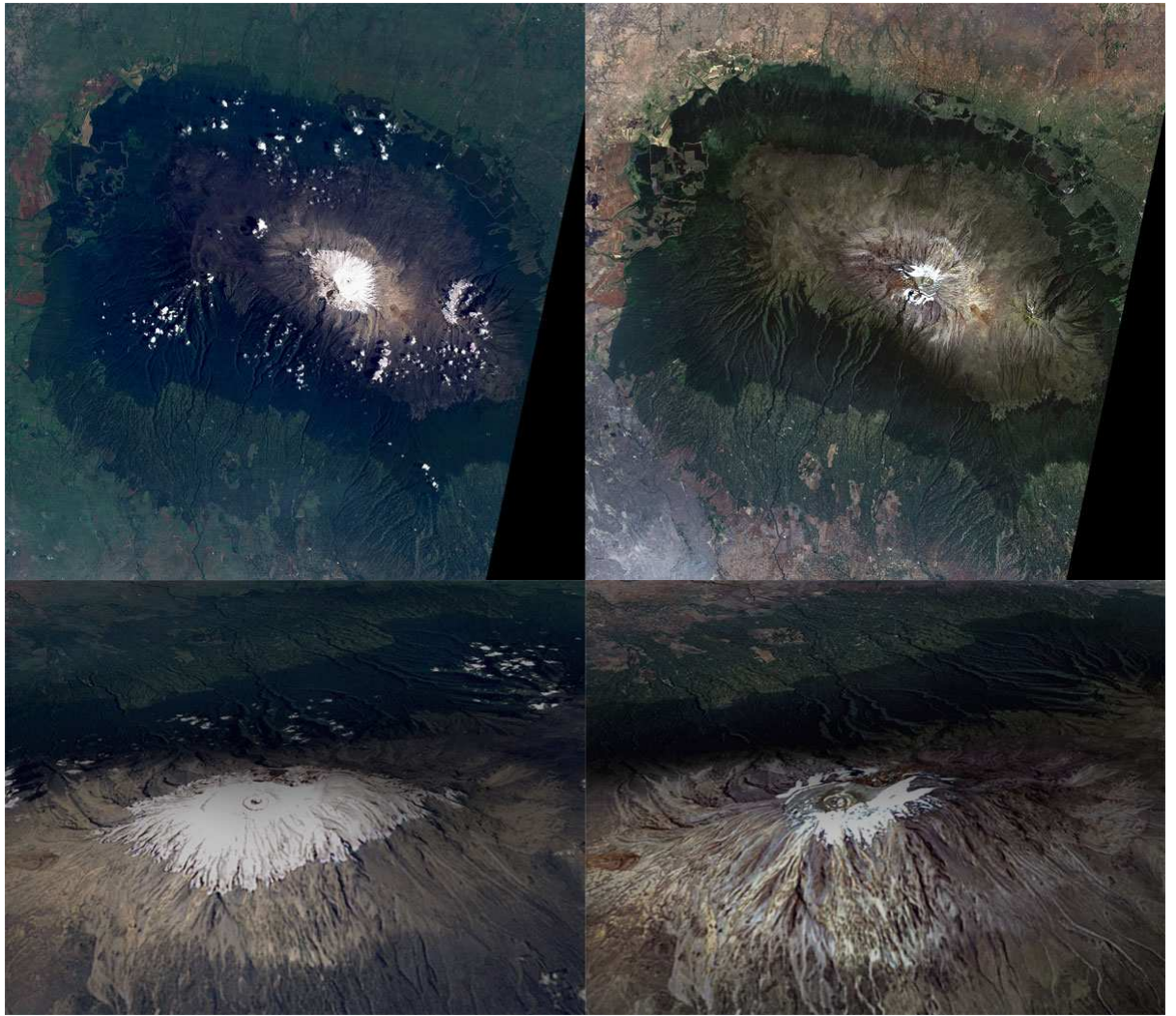
Ledovec Qori Kalis, Peru. Vlevo červenec 1978. Vpravo červenec 2004.



Hora Doldenhorn, Švýcarsko. Vlevo červenec 1960, Vpravo červenec 2007



Hora Matterhorn, Alpy na hranici Italie a Švýcarska. Vlevo srpen 1960. Vpravo srpen 2005.



Kilimandžáro, Afrika. Vlevo únor 1993. Vpravo únor 2000.

Zdroj: www.nasa.gov

12. Seznam grafů

- Graf 1.** Koncentrace CO₂ v atmosféře získaná měřením na stanici Mauna Loa na Havajských ostrovech v období 1955 – 2011 (str. 12)
- Graf 2.** Kolísání koncentrace CO₂ v závislosti na ročním období, stanice Mauna Loa na Havajských ostrovech v období 2007 – 2011 (str. 12)
- Graf 3.** Koncentrace oxidu uhličitého v období před 400 000 lety až po současnost. (str. 14)
- Graf 4.** Koncentrace oxidu uhličitého v období 2005 – 23.2.2011 (str. 14)
- Graf 5.** Globální roční emise antropogenních skleníkových plynů v období let 1970 – 2004 (str. 17)
- Graf 6.** Závislost teploty a koncentrace CO₂ z datových záznamů získaných v Antarktidě v období před 400 000 lety po současnost (str. 28)
- Graf 7.** Koncentrace CO₂ v minulosti až po současnost (str. 31)
- Graf 8.** Globální povrchové teploty v období 1880 – 2010 (str. 34)
- Graf 9.** Úbytek pevninských ledovců – Arktického (nahore) a Grónského (dole) od roku 2002 – 2/2010 (str. 36)
- Graf 10.** Snížení pokrytí Arktického ledového oceánu ledovcem v období 1979 – 2010 (str. 36)
- Graf 11.** Zvýšení mořské hladiny v období 1870 – 2000 a v období 1993 – 23.2.2011 (str. 37)
- Graf 12.** Tento graf nazvaný hokejka vytvořil geofyzik Micheal Mann, Bradley a Hughes roku 1998. Zaznamenává průměrnou teplotu za posledních tisíc let. (str. 45)
- Graf 13.** Změny teploty, výšky mořské hladiny a rozsahu sněhové pokrývky na severní polokouli. (str. 47)
- Graf 14.** Scénáře emisí skleníkových plynů v období od roku 2000 do roku 2100 (str. 58)