

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A
ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

METAN V KLIMATICKÉM SYSTÉMU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

METHANE IN THE CLIMATE SYSTEM

Vedoucí práce: Ing. Jana Soukupová, Ph.D.

Bakalant: Jana Zítková

2014

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování
Fakulta životního prostředí
ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zítková Jana

Aplikovaná ekologie

Název práce

Metan v klimatickém systému

Anglický název

Methane in the climate system

Cíle práce

V literární rešerši zpracovat koncizní přehled stoupaní a klesání koncentrace metanu v zemské atmosféře a to od hluboké minulosti Země až po dnešní stav. Popsat hlavní producenty a procesy vedoucí ke zvyšování koncentrace metanu v ovzduší. Skleníkový efekt, nebezpečnost a výhled do budoucnosti.

Metodika

Literární rešerše dle osnovy: 1. Úvod, 2. Metan z hlediska chemického, jeho působení v klimatickém systému, 3. Koncentrace metanu v minulosti Země, 4. Změny koncentrace metanu, způsobené lidskou činností, 5. Výhled do budoucnosti

Harmonogram zpracování

Do konce XI. konzultace hrubého nástinu práce, osnova
do I. 2014 hotová základní kostra práce
do III. 2014 hotovy úpravy a konečná verze práce

Rozsah textové části

30 stran

Klíčová slova

metan, globální oteplování, skleníkové plyny, skleníkový efekt

Doporučené zdroje informací

Ruddiman, W. F.: Pluhy nemoci a ropa. Galileo Praha, 2012

Cronin, T. M.: Paleoclimates. Understanding climate change Past and Present. Columbia University Press, New York, 2010

články v angličtině:

Ryskin, G.: Methane-driven oceanic eruptions and mass extinctions. Geology, v. 31, No. 9, pp. 741-744, 2003

a další články týkající se tématu

Vedoucí práce

Soukupová Jana, Ing.

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry



V Praze dne 20.1.2014

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

Prohlášení

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

V Praze 16. 4. 2014

.....

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat všem, kteří mi pomohli s napsáním této bakalářské práce. Za podporu, pomoc a trpělivost bych chtěla poděkovat především své rodině, blízkým, kamarádům a své vedoucí práce Ing. Janě Soukupové, Ph.D.

V Praze dne 16. 4. 2014

.....

Abstrakt

Metan je plyn, který je nejjednodušším nasyceným uhlovodíkem. Řadí se, spolu s dalšími látkami, jako jsou oxid uhličitý, vodní páry, oxid dusný a freony, mezi skleníkové plyny. Tyto plyny jsou díky svému výskytu v atmosféře schopny propouštět záření ze Slunce směrem k Zemi, ale dokážou pohltit dlouhovlnné záření, které je vyzařované zemí a tím sebe i své okolí oteplovat. Tento proces, který způsobuje ohřívání Země, se odborně nazývá skleníkovým efektem. Je však mylné se domnívat, že tento efekt má pouze negativní účinky. Bez skleníkových plynů by průměrná globální teplota na Zemi byla značně pod bodem mrazu. Skleníkový efekt je tedy proces, který se stal pro život na planetě Zemi nezbytný. Na Zemi však dochází k zesílení tohoto efektu a to v důsledku růstu koncentrací skleníkových plynů, které atmosféru ohřívají a zvyšují tak průměrnou teplotu na Zemi, která má za následek globální oteplování. Metan je jedním z těchto skleníkových plynů. Ke zvyšování koncentrace metanu docházelo již před několika tisíci lety s rozvojem zemědělství a jeho koncentrace od té doby v průměru roste. V této práci uvádím stručný přehled vývoje koncentrace metanu v ovzduší a to od dávné doby Země po dnešní dobu. Budoucí vývoj koncentrace metanu v atmosféře závisí jak na jeho uvolňování z přírodních zdrojů, tak především na antropogenních zdrojích. Ty jsou ovlivněny například budoucím technologickým, ekonomickým a politickým vývojem. Přehled zdrojů, které tuto koncentraci ovlivňují a její postupný vývoj od dávné minulosti po dnešní dobu je dobrý pro odhadování budoucích scénářů, které z těchto informací vycházejí a mohou tak predikovat příští vývoj.

Klíčová slova: metan, globální oteplování, skleníkové plyny, skleníkový efekt

Abstract

Methane is a gas that is the simplest saturated hydrocarbon. It belongs to the greenhouse gases, together with others such as carbon dioxide, water vapor, nitrous oxide and chlorofluorocarbons. These gases are due to their occurrence in the atmosphere capable to transmit shortwave radiation from the Sun towards the Earth, and on the contrary, can absorb long-wave radiation, which is emitted by the Earth and make itself and its surroundings warmer. This process, which causes a warming of the Earth, is technically called the greenhouse effect. However, it is wrong to assume that this effect has only negative impacts. Without greenhouse gases, the average global temperature would be substantially below the freezing point. The greenhouse effect is a process that is necessary for life on the planet Earth. On the Earth, however, this effect is strengthened as a result of the growth in concentrations of greenhouse gases that cause warming of the atmosphere and increase the average temperature of the Earth, which leads to the global warming. Methane is one of the greenhouse gases. The increase in the concentration of methane has started already several thousand years ago with the development of agriculture and its concentration on average keeps increasing since that time. In this paper I present concise overview of the concentration of methane in the atmosphere since ancient times to the present days. Future development of the methane concentration in the atmosphere depends both on its release from natural sources and, primarily, on anthropogenic sources. These are determined for example by future technological, economic and political developments. Overview of the sources that influence the concentration and its gradual evolution from the distant past to the present time is valuable for estimating future scenarios that are based on this information and can predict future developments.

Keywords: methane, global warming, greenhouse gases, greenhouse effect

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíle bakalářské práce	11
3. Metan z hlediska chemického a jeho působení v klimatickém systému.....	12
3.1. Chemické a fyzikální charakteristiky	12
3.2. Zdroje metanu.....	13
3.3. Klimatický systém Země, klima a počasí.....	15
3.4. Klimatická změna.....	16
3.5. Globální oteplování	18
3.6. Skleníkový efekt.....	19
4. Koncentrace metanu v minulosti Země	22
4.1. Nárůst koncentrace metanu v atmosféře.....	26
5. Změny koncentrace metanu, způsobené lidskou činností.....	30
5.1. Zemědělská činnost	30
5.2. Fosilní paliva	31
5.3. Další zdroje metanu	32
5.4. Antropogenně podmíněné zdroje	33
5.4.1. Metanové hydráty.....	33
5.4.2. Permafrost	33
5.5. Metan rozpuštěný v oceánech	35
5.6. Shrnutí	36
6. Výhled do budoucnosti	36
7. Závěr	40
8. Přehled literatury a použitých zdrojů.....	42
9. Přílohy.....	49

1. Úvod

Změna klimatu je v dnešní době velmi diskutovaným tématem mezi vědci, v médiích i v řadách široké veřejnosti. Vzhledem k důsledkům, které tyto globální změny klimatu způsobují, a jejich vlivu na lidskou populaci je zájem o jejich průběh pochopitelný. Důležitou příčinou globálních klimatických změn je globální oteplování, které je z jedné části způsobeno antropogenním vlivem a z části druhé i přírodními činiteli (ČHMÚ, 2008c). Proto je mylné se domnívat, že globální oteplování je způsobeno pouze lidskou činností. V atmosféře se díky lidské činnosti i přírodním pochodům hromadí skleníkové plyny. Skleníkové plyny jsou plyny, které díky svým fyzikálním a chemickým vlastnostem jsou schopné propouštět záření ze slunce a naopak pohlcovat dlouhovlnné záření emitované Zemí a tím sebe i své okolí ohřívat, čímž způsobují skleníkový efekt (Kadrnožka, 2008). Skleníkový efekt má pak za následek ohřívání Země a tím i zvyšování průměrné globální teploty (ČHMÚ, 2008e). Nejdůležitější skleníkové plyny, které způsobují tento efekt, jsou oxid uhličitý (CO_2), vodní páry, metan (CH_4), oxid dusný (N_2O), freony (CFC) a další (Štros, 2014a). Vzhledem k vysoké koncentraci oxidu uhličitého v atmosféře jsou mnohé studie věnované právě tomuto plynu. Zabývají se zdroji tohoto plynu, příčinami a důsledky jeho rostoucí koncentrace v ovzduší a samozřejmě i postupy, které by tento růst omezily. Metan je však také velmi důležitým skleníkovým plynem i přes jeho nižší koncentraci v ovzduší (Kadrnožka, 2008). Tento plyn je však 20 až 25krát účinnějším skleníkovým plynem než zmíněný oxid uhličitý a v atmosféře setrvává asi 12 let, než se rozpadne na oxid uhličitý a vodu (Kukliš, 2008). Proto je důležité tomu skleníkovému plynu věnovat pozornost a zjistit hlavní příčiny, v důsledku kterých dochází ke zvyšování koncentrace metanu v ovzduší. Výzkumy by se měly zaměřit na důkladné prostudování jeho zdrojů a jejich vzájemnou korelaci. Zvyšování koncentrace tohoto plynu nad přirozené množství bylo dnes zjištěno již pro dobu před několika tisíci lety (Ruddiman, 2005). Hlavní zdroje, které tento důležitý skleníkový plyn produkují, mají původ jak v lidské činnosti, která se postupem času stále rozrůstala tak i v přírodních zdrojích (Houghton, 1995). Je mnoho různorodých zdrojů, které produkují metan do ovzduší - jak přírodní, které fungují po celou dobu existence Země, tak antropogenní, které můžeme pozorovat

v horizontu tisíců let (Ruddiman, 2005). Pro zjištění alespoň přibližného budoucího vývoje koncentrace tohoto plynu je důležité znát mechanismy úniku metanu do ovzduší a jeho zdroje, důležité jsou také koncentrace metanu v ovzduší v minulosti. Z těchto důvodů se v Antarktidě a Grónsku provádí analýzy bublinek vzduchu ze vzorků, které se získávají z hlubinných vrtů ledovců (ČHMÚ, 2008d). Tímto způsobem se dá zjistit, jaké koncentrace plynů se zde vyskytovaly už před 800 tisíci lety (Metelka, Tolasz, 2009).

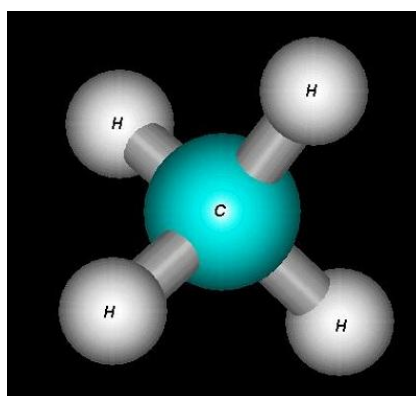
2. Cíle bakalářské práce

Cílem této práce je v literární rešerši zpracovat stručný přehled stoupání a klesání koncentrace metanu v zemské atmosféře a to od dávné minulosti Země až po dnešní stav. Dalším úkolem je popsat hlavní procedury a procesy vedoucí ke zvyšování koncentrace metanu v ovzduší. Záměrem je také popsat skleníkový efekt, nebezpečnost a výhled do budoucnosti.

3. Metan z hlediska chemického a jeho působení v klimatickém systému

3.1. Chemické a fyzikální charakteristiky

Metan je nejjednodušší alkan (nasyčený uhlovodík). Uhlovodíky jsou organické sloučeniny, jejichž molekula je složená jen z atomů uhlíku (C) a atomů vodíku (H) (VŠCHT, 2014). Metan je acyklický uhlovodík, který je tvořen pouze jedním atomem uhlíku (C) a čtyřmi atomy vodíku (H) (obr. č. 1), které jsou k uhlovodíku připojeny jednoduchými rovnocennými vazbami. Nasyčené uhlovodíky tedy značí výlučnou přítomnost jednoduchých vazeb a spadají pod ně alkanů a cykloalkanů (Břížďala, 2014). Pevné vazby v alkanech a tedy i v metanu zapříčiňují, že se řadí mezi nejméně reaktivní sloučeniny. Pravděpodobnost štěpení kovalentní vazby mezi vodíkem a uhlíkem je malá, což způsobuje netečnost alkanů vůči polárním a iontovým činidlům (VŠCHT, 2014). Metan má tetraedrickou prostorovou molekulu, což znamená, že centrální atom (C) je v těžišti tetraedru, z něhož vedou čtyři rovnocenné vazby směřující do vrcholů tetraedru. Úhel mezi vazbami činí $109,5^\circ$. Před vytvořením molekuly atomové orbitály uhlíku tzv. hybridizují, což znamená, že se orbitály energeticky sjednotí, dostanou se na stejnou energetickou hladinu a změní se jejich prostorový tvar. Takto vznikají nové orbitály, tzv. hybridní. Hybridizace tak vysvětluje vznik rovnocenných vazeb z energeticky odlišných orbitalů a umožňuje vznik tetraedrické struktury (Dolejšková et al., 2010).



Obr. č. 1 Model metanu (Teplý, Konopásek, 2012).

Metan je za normální teploty a tlaku plyn bez barvy a bez zápachu a jeho teplota varu činí -161°C (MŽP, 2012) a jeho teplota tání je -184°C (Břížďala, 2014). Vyskytovat se může i v kapalném skupenství, ale to pouze pod tlakem (MŽP, 2012). Jedná se o extrémně hořlavý plyn, který v určitých koncentracích ve směsi se vzduchem tvoří výbušnou látku (Břížďala, 2014). Metan je nerozpustný v polárních rozpouštědlech, je málo rozpustný ve vodě (asi jen $0,22\text{ mg/l}$), má menší hustotu než voda a lze ho rozpustit v nepolárních rozpouštědlech (VŠCHT, 2014). Hustota metanu je $0,68\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ při teplotě 15°C a tlaku $1\ 013\text{ hPa}$ (Air liquide, 2013), což značí, že je oproti vzduchu lehčí. Metanu také jinak říkáme bahenní plyn nebo bioplyn (MŽP, 2012).

3.2. Zdroje metanu

Do klimatického systému se metan dostává uvolňováním z různých přírodních i člověkem ovlivňovaných zdrojů (tab. č. 1) (EU, 2014). Metan vznikající biologickým rozkladem organických látek bez přístupu kyslíku, je tedy konečný produkt redukce organických látek (MŽP, 2012). V anaerobním prostředí žijí metanogenní bakterie, které redukují oxid uhličitý na metan. Tyto bakterie se využívají například při výrobě bioplynu, můžeme je najít i v odpadních vodách, bahně a v trávicím traktu živočichů (Pastorek, 2008). Dalšími přírodními zdroji metanu jsou zahňvací procesy v rašeliništích a mokřinách (EU, 2014), výměna plynů mezi oceánem a atmosférou a činnost termitů (MŽP, 2012). Mezi antropogenní zdroje, které uvolňují metan do klimatického systému, patří těžba a zpracování fosilních paliv (EU, 2014), chov dobytka, kdy dochází k emisi metanu do ovzduší dobyt看em samým, spalováním biomasy a také procesem anaerobní stabilizace kalu v čističkách odpadních vod, kde dochází během vyhnívání ke vzniku bioplynu (MŽP, 2012). Dalším zdrojem metanu ovlivněným činností člověka je pěstování rýže, při němž jsou velké plochy rýžových polí zaplaveny vodou a organické látky v půdě se tak rozkládají bez dostatečného přístupu kyslíku a emitují tak metan do atmosféry (tab. č. 1). Bez dostatečného přístupu kyslíku jsou ukládány na skládky také odpady, kde se organický materiál opět rozkládá a tvoří tak další zdroj bioplynu unikajícího do ovzduší (EU, 2014). Emise také pocházejí z úniků zemního plynu v plynárenství, z rozvodných zařízení (MŽP, 2012), či při těžbě a spotřebě zemního plynu (Štros, 2014a).

Zdroje	Miliony tun ročně	
<i>přírodní:</i>		
mokřady	115	(100-200)
termiti	20	(10-50)
oceán	10	(5-20)
sladká vod	5	(1-25)
hydratovaný metan	5	(0-5)
<i>antropogenní:</i>		
těžba uhlí, zemního plynu, ropný průmysl	100	(70-120)
rýžová pole	60	(20-150)
střevní fermentace dobytka	80	(65-100)
výkaly živočichů	25	(20-30)
komunální kanalizace	25	(?)
skládky odpadu	30	(20-70)
pálení biomasy	40	(20-80)

Tab. č. 1 Odhadované zdroje metanu v milionech tun ročně. První sloupec udává nejpříznivější odhad pro daný zdroj a druhý sloupec udává rozpětí hodnot, které je dáno neurčitostí v odhadech (Watson et al., 1992).

Metan, jako jeden z hlavních představitelů skleníkových plynů, svým nadměrným výskytem v atmosféře způsobuje skleníkový efekt. Vzhledem k důležitosti tohoto skleníkového efektu, který způsobují i další plyny jako je oxid uhličitý (CO₂), oxid dusný (N₂O), freony (CFC) a vodní pára, která skleníkový efekt velmi ovlivňuje, je důležité si tento termín přiblížit a popsat jeho průběh. Skleníkový efekt je také nejpravděpodobnějším vysvětlením současné klimatické změny na Zemi, se kterou jsou spjaty především změny v koncentracích skleníkových plynů v atmosféře (Štros, 2014a).

3.3. Klimatický systém Země, klima a počasí

Klimatický systém je termín, v dnešní době velmi často užívaný. Máme-li tento termín správně objasnit, musíme si nejdříve přiblížit, co je klima a jaký je rozdíl mezi klimatem a počasím.

Chceme-li dobře pochopit mechanismus, který tvoří na Zemi klima, musíme ho chápat jako velmi složitý systém, který se skládá z atmosféry, oceánů, mořských ledů a pevninských ledovců, sněhového pokryvu, pevninského povrchu a jeho součástí jako je vegetace, fauna, veškeré ekosystémy a celková hydrologie (obr. č. 2) (Houghton et al., 1990). Vznik atmosféry před 4,5 miliardami let byl podnětem pro počátek a existenci globálního klimatického systému Země. Biosférická složka vznikla přibližně před 3,8 miliardami let a od té doby do současnosti tyto složky spolu výrazně interagují (Štros, 2014b). Částmi úplného klimatického systému jsou atmosféra, oceány, kryosféra, biosféra a litosféra (Houghton et al., 1990). Všechny tyto složky systému, tvoří komplikovaný termodynamický systém, jehož součástí je velká řada chemických a fyzikálních procesů. Jmenované složky klimatického systému Země jsou v neustálé interakci, během níž dochází k výměně energie a hmoty, a to jak mezi sebou, tak také uvnitř svých vlastních podsystémů (obr. č. 2). Úplný klimatický systém můžeme označit jako nelineární a velmi komplikovaný systém, v němž probíhají procesy, které jsou navzájem spojeny složitými vazbami. Jakákoli změna v jednom podsystému tedy může vyvolat změnu v dalších složkách klimatického systému. Nějaká změna v jedné části systému, vyvolaná určitým podnětem, způsobí změnu v další části systému, která má zpětný vliv na část první. Odezva určité složky na prvotní impuls je tím pak pozměněna. Když reakce na impuls zesílí, hovoříme o pozitivní zpětné vazbě a v případě, že je reakce na daný podnět zpětnou vazbou zeslabena, mluvíme o negativní zpětné vazbě (ČHMÚ, 2008b). Účinkem kladných zpětných vazeb roste nerovnovážený stav klimatického systému, naopak záporné zpětné vazby stabilitu systému zvyšují. Jakýkoli malý prvotní zásah do podsystému tedy může podnítit řetězovou reakci a vlivem kladných zpětných vazeb přerůst do daleko markantnějšího rozsahu (Houghton et al., 1990).

Chceme-li se zabývat změnou klimatu, je nutné si vysvětlit pojem počasí a klima. Počasí je jednoduše řečeno stav atmosféry, který se v daném místě a v dané

době skutečně vyskytuje (ČHMÚ, 2008h) a je dáno změnou synoptických systémů, které se mohou měnit ze dne na den (Wyrтки, 1982). Rychlé změny atmosférické cirkulace nebo změny poměrů v oceánech, popřípadě sezónní změny toku slunečního záření způsobují změnu počasí. Počasí se může rychle měnit z hodiny na hodinu i z roku na rok, aniž by v určitém místě změnilo klima (ČHMÚ, 2008h). Z pohledu několika let, lze průběh počasí pochopit jako děj, který je pro určité dané území charakteristický a v porovnání s jinými oblastmi se může velice odlišovat.

Klima pak popisuje stav počasí za delší časový úsek (ČHMÚ, 2008h). Existuje mnoho různých definic, které klima popisují. Jedna z definic říká, že klima je dlouhodobý režim atmosférických podmínek charakteristických pro dané místo v závislosti na jeho geografickém umístění (Chromov, 1968). Jako průměrný stav atmosféry a běžný průběh počasí na daném místě definoval klima Köppen. Meteorologický výkladový slovník charakterizuje klima jako průměrný fyzikální stav atmosféry spolu s jeho variabilitou v čase i prostoru, která se pak projeví jako průběh počasí v období mnoha let (Parker, 1988). Zjednodušeně můžeme tedy klima definovat jako průměrné počasí za období několika desetiletí. K charakteristice klimatu můžeme užít parametry, jako jsou například průměrné srážky, průměrná teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, rychlost větru, intenzita a délka slunečního svitu a dalších klimatických parametrů v období dlouhém alespoň 30 let. Neměli bychom však zmiňovat pouze průměrné hodnoty, při charakteristice klimatu je nutné zmínit i veličiny, které popisují i jeho fluktuace, jako jsou například extrémní hodnoty (ČHMÚ, 2008h).

3.4. Klimatická změna

Změna klimatu je v dnešní době tak hojně využívaný termín, že je dobré si ho v rámci toho textu vysvětlit. Změna klimatu a její dopady jsou v této době hlavním předmětem současné environmentální politiky. Termín změna klimatu má v odborné literatuře mnoho významů. Obecně termínem rozumíme změnu, která je vyvolaná jakýmkoli faktorem, včetně těch změn, které jsou vyvolané antropogenní činností (Nemešová, Pretel, 1998). Změnou klimatu rozumíme dlouhodobý posun klimatického režimu v určitém místě, oblasti či na celé planetě. Posun je spjat se změnou charakteristického průměrného počasí (ČHMÚ, 2008h). Snahou je

klimatickou změnu co nejvíce zmírnit a její průběh zpomalit, proto byla v roce 1992 v Riu de Janeiru uzavřena Rámcová úmluva o změně klimatu, v níž se smluvní státy zavázaly k odvrácení nebezpečného antropogenního ovlivňování klimatického systému (Metelka, Tolasz, 2009). Změna klimatu je v Rámcové úmluvě OSN popsána jako změna způsobená přímo nebo nepřímo antropogenní činností, a to takovou, která způsobuje změny složení atmosféry v globálním měřítku, a která tvoří navýšení k přirozené variabilitě klimatu (Houghton et al., 1996).

V dřívějším období byly změny klimatu způsobené především geografickými a astronomickými vlivy, které byly zesíleny nebo potlačeny zpětnými vazbami. Mezi tyto vlivy můžeme řadit například změny parametrů oběžné dráhy Země, změnu v rozmístění kontinentů a změny solární aktivity. Jeden z dalších parametrů, který v menším časovém měřítku ovlivňuje změny podnebí, je vulkanická činnost. Emise skleníkových plynů, aerosolů, produktů z průmyslové výroby a těžby surovin či zemědělství, změny povrchu pevniny, jako je odlesňování a výstavba a zásahy do hydrologického systému jsou antropogenní faktory, kterými lidská populace ovlivňuje různé části klimatického systému (ČHMÚ, 2008c).

Klima Země se v minulosti silně měnilo a to v různých časových i prostorových měřítkách, proto není překvapením, že dnes také pozorujeme změny v klimatickém systému. Studium změn klimatických podmínek v minulosti je velmi důležité, abychom zjistili co nejvíce o procesech, které v systému probíhají. Hlavní a největší změny byly doby ledové a teplejší doby meziledové, které je periodicky střídaly (Nemešová, Pretel, 1998). Poslední doba ledová skončila přibližně před 12 000 lety a my nyní žijeme v teplejším meziledovém období v takzvaném interglaciálu (Houghton, 1995). Z ledové kůry Antarktidy se pomocí paleoklimatologických měření však zjistilo, že během těchto interglaciálních období se v atmosféře vyskytovalo zvýšené množství oxidu uhličitého, který je s dalšími plyny, jako je metan, vodní pára a oxid dusný hlavním skleníkovým plynem. Ovšem přirozený výskyt těchto plynů v atmosféře je pro nás nezbytný. Díky těmto plynům je průměrná teplota Země přibližně o 33°C vyšší, než by zde byla bez skleníkových plynů a skleníkového efektu (ČHMÚ, 2008a). Přirozený výskyt těchto plynů je tedy důležitý pro optimální podmínky pro život na Zemi, avšak v důsledku lidské činnosti je do atmosféry vypouštěno mnohem větší množství těchto látek. Vyskytuje se zde

zvýšené množství skleníkových plynů, ale také látek, které atmosféra dříve vůbec neobsahovala, jako jsou například freony.

Součástí klimatické změny je oteplení většiny pevnin, které se již v této době projevuje, a v budoucnosti bude ještě markantnější. Také zaznamenáme menší počet chladných dnů a nocí a také se budou vyskytovat vlny horkých dnů, jejichž intenzita pravděpodobně bude velice růst. Na přírodní ekosystémy má vzrůst průměrné teploty nepříznivý dopad, protože se špatně adaptují. Klimatické změny taky ovlivňují všechny druhy vodních zdrojů od malých potoků až po oceány a zejména horské ledovce, které zmenšují svojí plochu a dochází k úbytku jejich vydatnosti. Očekávat můžeme i vyšší intenzitu extrémních hydrometeorologických událostí, ze kterých můžeme jmenovat například bouře, silné větry, intenzivní srážky a povodně a v tropických oblastech hurikány (Metelka, Tolasz, 2009). Přítomnost těchto extrémních klimatických událostí a katastrof nám demonstruje důležitost klimatu pro život na Zemi. Státy na celém světě si uvědomily svou citlivost a zranitelnost vůči změnám klimatu, která se s rychlým vzrůstem nároků na přírodní zdroje zesiluje (Houghton, 1995).

3.5. Globální oteplování

Měnicím se podmínkám na Zemi se klimatický systém přizpůsobuje zejména formou globálního oteplování. Globální oteplování je tedy pouze jedním z projevů klimatické změny, vztahuje se k jakékoli změně průměrné globální teploty. Klimatická změna je pak všeobecný posun v charakteru klimatu, který zahrnuje posun v teplotách, množství srážek, větru a jiných parametrů (ČHMÚ, 2008a). Termín globální oteplování, však nevyjadřuje homogenní oteplení celé Země, jak si jej lidé někdy mylně vysvětlují. Tento termín si můžeme vyložit tak, že zvýšení průměrné globální teploty podněcuje změny v globální cirkulaci, což zapříčiní, že různé části Země se ohřívají odlišně a v některých částech může paradoxně docházet i k ochlazení.

Účinky globálního oteplování mohou být opravdu celosvětové, vzhledem k působení lidské činnosti a její intenzity během přibližně posledních třiceti let. Jelikož se jedná o problémy celosvětového měřítka, měly by se na řešení těchto problémů účastnit všechny státy. K posuzování a hodnocení problému globálního

oteplování byl v roce 1988 založen významný mezivládní orgán – Mezivládní panel pro změnu klimatu (Intergovernment Panel on Climate Change), tedy IPCC. Tento panel si vyžádal vědeckou zprávu, která obsahovala všechna známá odborná fakta o globálním oteplování Země. Podle této zprávy pak mohla IPCC nastítnit požadavky na konkrétní činnost (Houghton, 1995).

Globální oteplování s sebou nese mnoho negativních důsledků pro životní prostředí a pro funkčnost různých ekosystémů včetně ovlivnění vodního hospodářství, lesního hospodářství, zemědělské činnosti nebo může způsobovat zvýšení hladin oceánů a moří (ČHMÚ, 2008a). Všechny tyto projevy však mají za následek i zvýšení ekonomických nákladů na hospodaření.

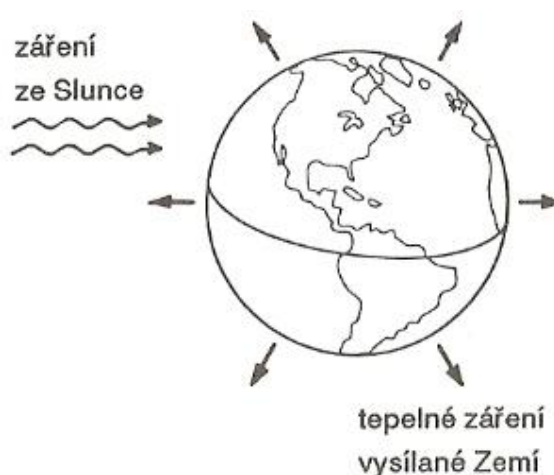
Globální oteplování se v různých částech světa projevuje odlišně a v některých oblastech jeho následky způsobují i rozsáhlé katastrofy. Povodně, či sucha a jiné extrémní projevy globálního oteplování jsou v poslední době důvodem, proč se o tuto problematiku začala zajímat i široká veřejnost.

3.6. Skleníkový efekt

Solární radiace je hlavním zdrojem energie pro klimatický systém. Radiační rovnováha Země je tedy rovnováha mezi množstvím energie krátkovlnného slunečního záření, jež povrch Země, atmosféra a oblaky přijímají, a množstvím energie, které je odraženo a emitováno ze Země nazpět do prostoru kosmu (obr. č. 3) (Kadrnožka, 2008).

Tyto dva radiační proudy by měly být v průměru vyrovnané. Když je tato rovnováha porušena, například zvyšováním množství skleníkových plynů, může se znovu vyrovnat zvýšením teploty povrchu Země (Houghton, 1995). Dílčí energetické toky stanovují teplotu ovzduší, a proto zásadním způsobem určují teplotu zemského povrchu a atmosféry. Ze slunečního záření dopadajícího na planetu se přibližně třicet procent této solární energie pohltí a rozptýlí v horních vrstvách atmosféry, odrazí se od oblaků, povrchu Země a hladin oceánů. Tato část solárního záření závisí na tom, jak čisté je ovzduší, jak vysoká je oblačnost, na povaze zemského povrchu a jeho albedu. Albedo můžeme popsat jako poměr odraženého elektromagnetického záření ku množství dopadajícího záření (Kadrnožka, 2008). Hodnoty albeda povrchu Země

oscilují ve velmi širokém rozsahu. Z přirozených povrchů má největší albedo sněhová pokrývka, čerstvě napadlý sníh odráží až 70 – 95% dopadajícího solárního záření. Poměrně vysokou odrazivost mají také písečné pouště a solné pánve, které jsou schopné odrazit až 45 % dopadající radiace. Další přirozené povrchy mají albedo nižší, dokážou odrazit přibližně kolem 25% dopadající radiace. Vodní plochy, sady, lesy a další vyšší vegetační porosty mají albedo závislé na výšce Slunce nad obzorem. Při malých výškách Slunce nabývá albedo vyšších hodnot a při velkých výškách naopak malé, protože radiace proniká hlouběji do vegetace nebo vody a tam je pohlcována (Houghton et al., 1996).



Obr. č. 3 Znárodnění radiační bilance Země. Dopadající záření ze Slunce je vyrovnáváno tepelným zářením, které je vyzářováno ze Země (Houghton, 1995).

Zbývající sedmdesát procent solárního záření projde ovzduším a dále je pohlcováno zemským povrchem a spodní vrstvou ovzduší (Kadrnožka, 2008). Tato energie musí být zpětně vyzářena do kosmického prostoru v podobě dlouhovlnného tepelného záření (Viden, 2005). K vyrovnání energie, která na Zem dopadá, musí Země odrazit a sama vyzářit v průměru stejné množství energie nazpět do prostoru, jinak dojde k energetické bilanční nerovnováze a změně teploty Země. Množství záření emitovaného zemským povrchem závisí na jeho teplotě, čím je tento povrch teplejší, tím více záření opět vydává. Množství radiačního záření také závisí na absorpční schopnosti povrchu, čím větší absorpční schopnost povrch má, tím větší je radiace (Houghton, 1995).

K přirozenému skleníkovému efektu dochází působením vodní páry, oxidu uhličitého a dalších plynů v atmosféře, které jsou zde přítomny v přirozeném množství. Existence vodní páry v naší atmosféře je nejvíce ovlivněna teplotou povrchu oceánů, ze kterého se vypařuje. Tento mechanismus není přímo ovlivněn lidskou činností. Vodní pára je však nejdůležitějším skleníkovým plynem. (Houghton, 1995). Atmosféra Země však obsahuje další skleníkové plyny jako oxid uhličitý, metan, oxid dusný a další (Trenberth, 1992), jejichž výskyt v ovzduší člověk přímo ovlivňuje. U skleníkových plynů je důležité, v jaké koncentraci se v ovzduší nacházejí, ale také na schopnosti jejich absorpce dlouhovlnného záření. Tyto hodnoty se u různých plynů značně liší (Houghton, 1995).

Kdyby se v atmosféře nevyskytovaly skleníkové plyny, ale pouze dusík a kyslík, průměrná teplota zemského povrchu by se pohybovala přibližně kolem -6°C (Houghton 1995) a Země by byla zmrzlou planetou bez života a proto je přirozený skleníkový efekt nezbytnou podmínkou pro život na Zemi (Nábělková, Nekovářová, 2010). Průměrná teplota povrchu Země se pohybuje kolem 15°C (Houghton et al., 1996).

Přirozený skleníkový efekt je důsledkem působení především vodní páry a oxidu uhličitého v atmosféře v přirozeném množství (Houghton, 1995). V atmosféře se dnes však vyskytují ve zvýšeném množství a vedle těchto dvou plynů se zde vyskytují další, které mají také skleníkový účinek, jako je například metan a oxid dusný. Zvýšený skleníkový účinek je pak důsledkem působení těchto skleníkových plynů v atmosféře (obr. č. 4). Základním důsledkem skleníkového efektu na Zemi je ohřívání jejího povrchu. Záření ze slunce má největší intenzitu v krátkých vlnových délkách a toto záření atmosféra z větší části propouští. Záření pak dopadá na zemský povrch a ten ohřívá. Ze zahřátého povrchu Země se pak emituje stejné množství energie do kosmického prostoru. Vzhledem k nižší teplotě Země má toto záření větší vlnové délky (Kadrnožka, 2008). Skleníkové plyny pak odrážejí velkou část dlouhovlnného záření této odcházející tepelné energie, kterou planeta vyzařuje a její podstatná část se vrací k Zemi a tím ji dále otepluje (obr. č. 4) (ČHMÚ, 2008h). Skleníkový efekt v naší atmosféře je mnohem složitějším procesem, než je u normálního skleníku (obr. č. 5) (Kadrnožka, 2008). Jen část slunečního záření projde až na povrch Země (obr. č. 4), přibližně 30% pronikajícího záření do zemské

atmosféry se vrátí zpět do kosmického prostoru a to díky odrazu od oblačnosti, rozptylu na molekulách vzduchu nebo odrazem od zemského povrchu, který je závislý na albedu povrchu Země. Zbýlých přibližně 70% slunečního záření je pohlceno povrchem a v jisté míře i atmosférou (Metelka, 2009). Teplo, které zemský povrch zachytí jako přímé záření a teplo, které se zachytí v atmosféře jako difúzní záření, musí být zpět vyzářeno do kosmického prostoru. Teplota povrchu Země je však nižší, než je teplota Slunce, a tak povrch emituje do kosmického prostoru záření o mnohem větších vlnových délkách, kterému říkáme tepelné záření. Skleníkové plyny jsou však pro určité vlnové délky tohoto záření neprůchodné a následkem toho je, že záření v těchto vlnových délkách pohlcují (Kadrnožka, 2008). Pohlcení tohoto tepla má za následek zvýšení teploty povrchu Země a zvýšení teploty vzduchu. Účinek těchto plynů se však neprojevuje pouze zvýšenou teplotou vzduchu, ale také ovlivňuje proudění vzduchu, vertikální stabilitu vzduchové hmoty, vypařování, mrznutí nebo tání vody a kondenzaci vodní páry (Metelka, Tolasz, 2009).

Již od 19. století bylo známo, že zvýšená koncentrace skleníkových plynů, přispívá ke zvýšené teplotě. V 19. století tento proces zkoumal, jako jeden z prvních, švédský chemik Svante Arrhenius, který poté jako první upozornil na to, že antropogenní emise oxidu uhličitého mohou zapříčinit zvýšení růstu teploty atmosféry (Houghton, 1995). Zvýšené množství skleníkových plynů způsobuje růst teploty, což je vysvětleno fyzikální podstatou skleníkového efektu. Naopak nárůst teploty může také zvýšit koncentrace skleníkových plynů, což je dáno schopností vody vázat plyny, která se zvyšující teplotou klesá. Například oteplení oceánů by tedy vedlo ke snížené absorpci plynů ve vodě a případně i k jejich uvolňování a odtávání permafrostu by způsobilo uvolnění skleníkových plynů, jako je metan a oxid uhličitý (Metelka, Tolasz, 2009).

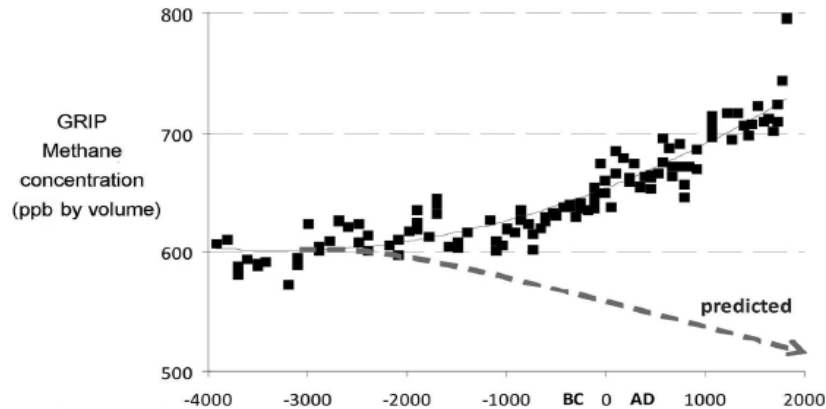
4. Koncentrace metanu v minulosti Země

Metan, je jeden ze skleníkových plynů, který však není méně důležitý než oxid uhličitý a jiné skleníkové plyny. Jeho koncentrace je nižší než oxidu uhličitého.

Koncentrace oxidu uhličitého je přibližně 393 000 ppb¹ za to koncentrace metanu je jen asi 1 819 ppb (WMO, 2012). Metan je však přibližně 20 krát účinnějším skleníkovým plynem než je oxid uhličitý (Štros, 2014a). Skleníkový efekt, ke kterému dochází působením těchto plynů, měl v minulosti v jednotlivých vývojových obdobích Země různou intenzitu, tato intenzita měla závislost na okamžitých koncentracích skleníkových plynů v dané době. Koncentrace těchto plynů byla klíčová pro změny teploty v minulosti Země. V obdobích, kdy koncentrace plynů v ovzduší byla nízká, byla nízká i teplota na Zemi (obr. č. 6). Tato období jsou označována jako doby ledové, tedy doby glaciální. Naopak v obdobích, kdy koncentrace skleníkových plynů v ovzduší byla vyšší, na povrchu Země byly vyšší i globální teploty. Tato období s teplotami přibližně o 6 až 10°C vyššími než v dobách ledových, se nazývají doby interglaciální, nebo meziledové (obr. č. 6) (Kadrnožka, 2008).

Jak velké množství skleníkových plynů v atmosféře přibývá vlivem antropogenní činnosti, mohou vědci zjistit z každoročních spotřeb fosilních paliv. Je však důležité vědět, jaké množství těchto plynů se v atmosféře vyskytovalo v minulosti, abychom tyto hodnoty mohli srovnávat se současnými trendy (obr. č. 7). Koncentrace oxidu uhličitého v ovzduší se měří přibližně 50 let a koncentrace metanu dokonce ještě kratší dobu, z čehož lze vyvodit, že tak krátká doba měření nám neumožní studovat vývoj koncentrací v řádech sta let. Existuje naštěstí způsob, který nám pomáhá zjistit, jaká množství těchto plynů se zde vyskytovala v dřívějších dobách. Tyto metody jsou založené na analýze bublinek vzduchu ze vzorků, které se získávají z hlubinných vrtů z ledovců v Antarktidě a Grónsku, kde se plyny zachovaly (obr. č. 8). Takto se dá zjistit, jaké koncentrace plynů se zde vyskytovaly už před 800 tisíci lety (Metelka, Tolasz, 2009), což můžeme vidět na obrázku č. 9, ze kterého je patrné, že koncentrace metanu se od doby před 800 000 lety do roku 1950 přibližně pohybovala v rozmezí 400 až 700 ppb. Z ledovcových vrtů z Antarktického ledovce (obr. č. 10) se zjistilo, že v dobách ledových byla koncentrace metanu kolem 320 ppb a interglaciálních dobách pak koncentrace činila asi 760 ppb (Cronin, 1999).

¹ ppb – z anglického *parts per billion* tedy „části z miliardy“ je jednotka koncentrace látky, která vyjadřuje počet objemových jednotek v miliardě objemových jednotek vzduchu (Kadrnožka, 2008).



Obr. č. 7 Předpokládaný vývoj koncentrace metanu v atmosféře a skutečné naměřené hodnoty (Fuller et al., 2011).

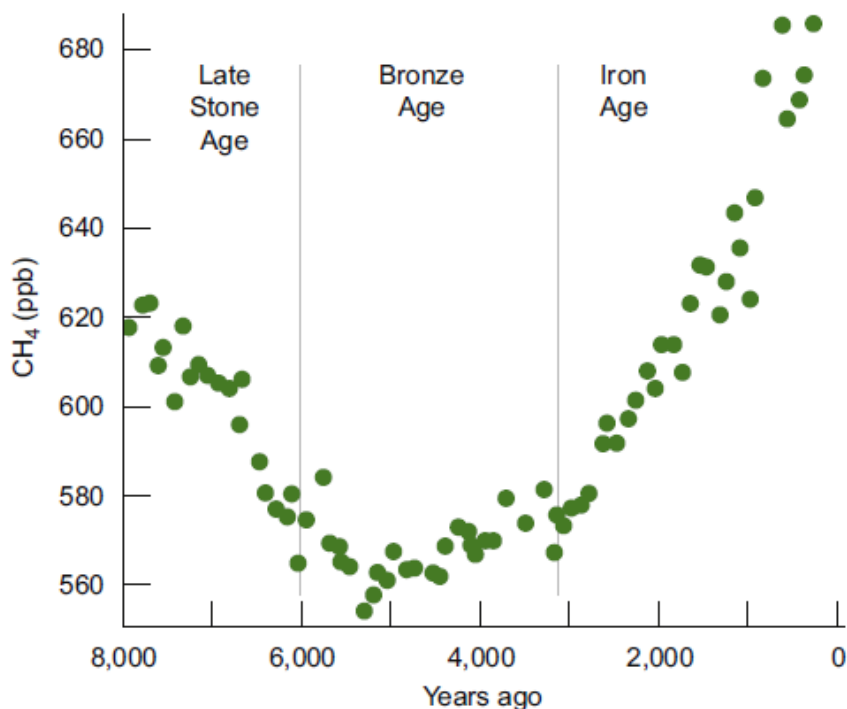
Koncentrace metanu z doby glaciální do doby před industrializací se zvýšila přibližně dvojnásobně. U oxidu uhličitého nebylo toto zvýšení tak veliké (tab. č. 2). Tyto skleníkové plyny mají však různou dobu životnosti v ovzduší. Metan se odbourá přibližně za 12 let (Houghton et al., 1996), oxid uhličitý však až za 50 až 200 let. Tyto a další skleníkové plyny jsou plyny radiačně aktivní, což znamená, že molekuly těchto plynů jsou schopné absorbovat dlouhovlnné tepelné záření vyzařované Zemí. Radiační působení molekuly plynu a doba životnosti plynu se používá k výpočtu tzv. potenciálu globálního oteplování (GWP = Global Warming Potential) plynu pro dané časové období. GWP oxidu uhličitého je standardizován na hodnotu 1; metanu (CH_4) na 21; oxidu dusného (N_2O) na 290 a GWP chloro-fluorovaných uhlovodíků (CFCs) se pohybuje mezi 3000 a 8000. Zvýšená koncentrace metanu je tedy vzhledem k vysoké hodnotě GWP velmi markantní. Koncentrace metanu se tedy měnila v průběhu posledních 1000 let před industriální dobou více než koncentrace oxidu uhličitého (Cronin, 1999).

	Koncentrace			20. století	
	Doba glaciální	Pre-industriální*	Aktuální	Meziroční změna koncentrace	Meziroční změna v %
Oxid uhličitý (CO₂)	200 ppm	280-290 ppm	365 ppm	1,5 ppm	0,4
Metan (CH₄)	300-400 ppb	700 ppb	1 730 ppb	10 ppb	0,6
Oxid uhelnatý (CO)	-	90 ppb	0,6 ppb		0,7
Oxid dusný (N₂O)	-	275	312 ppb	0,8 ppb	0,3
Chloro-fluorované uhlovodíky (CFCs)	-	0,1-0,5 ppb	0,01-0,02 ppb		

*"Pre-industriální" vztahuje se k době před koncem devatenáctého století.

Tab. č. 2 Přibližné koncentrace důležitých skleníkových plynů v různých vývojových dobách Země (Cronin, 1999).

Koncentrace atmosférického metanu klesala během první poloviny Holocénu, ale pak se tato tendence změnila a koncentrace začala před 5 000 lety vzrůstat (obr. č. 11). K nárůstu v době bronzové mohlo také docházet kvůli mýcení lesů pro zemědělské účely, které způsobilo velkou erozi, jež vedla ke zvýšení usazování sedimentů v řekách a k rozšíření delt. Nárůst populace vedl k ostatním druhům metanových emisí. Se zvyšujícím se počtem populace, rostly chovy dobytka, jejich produkce odpadu, vypalování lesů a produkce lidského odpadu. Sestupný trend koncentrace metanu a náhlé zvýšení se shodují se zvýšením lidské zemědělské činnosti v průběhu doby bronzové a železné (obr. č. 11). Doba bronzová v Číně začala před 4 500 lety (Ruddiman et al., 2008).

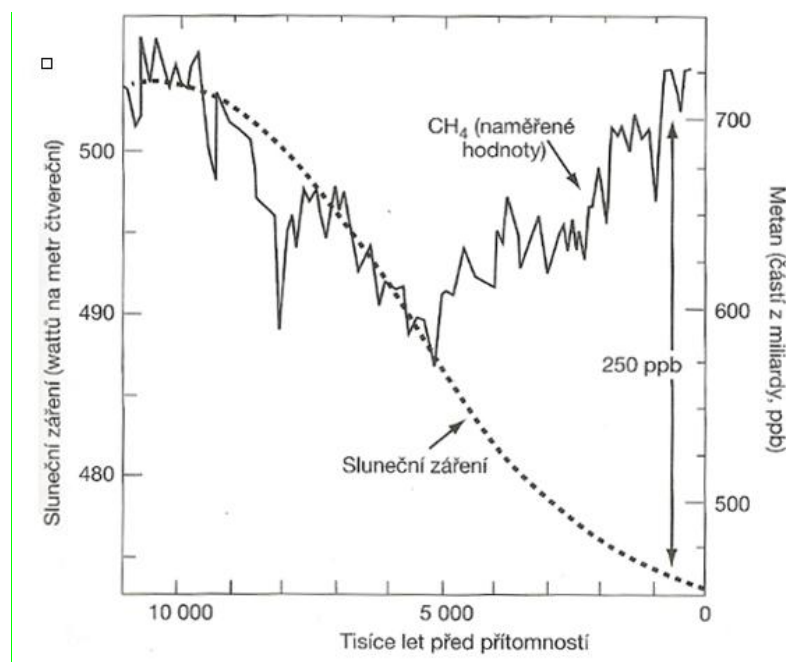


Obr. č. 11 Koncentrace metanu získané z ledovcových jader v Antarktidě. Koncentrace v pozdní době kamenné (Late Stone Age), v době bronzové (Bronze Age) a v době železné (Iron Age) (Ruddiman et al., 2008).

4.1. Nárůst koncentrace metanu v atmosféře

Přírodní mokřady byly hlavním zdrojem metanu v atmosféře a v minulosti dokonce jedním z hlavních příčin emise tohoto plynu. Před 11 000 lety však dosáhlo oslunění severních tropických oblastí jednoho z mnoha svých 22 000letých maxim. Od té doby, kdy bylo dosaženo maxima, záření opět klesá z důvodu uplynutí další poloviny cyklu. Pokles slunečního záření způsobil snížení intenzity tropických letních monzunů a to vyvolalo vysychání mokřadů v tropických oblastech, které jsou jedním ze zdrojů metanu v atmosféře. Vysychání těchto mokřadů v průběhu tisíců let snižovalo množství metanu uvolňovaného do atmosféry. Rozbor z ledového jádra v Grónsku pak prokázal, že největší koncentrace metanu byla před 11 000 lety, v době, kdy dosáhlo oslunění vrcholu. Od té doby se sluneční záření snižovalo a snižovala se tak i koncentrace metanu (obr. č. 12). Ke zvratu pak došlo přibližně před 5000 lety, kdy množství metanu začalo opět stoupat, avšak sluneční záření stále klesalo (Ruddiman, 2005).

Hlavním přirozeným zdrojem metanu jsou činnost termitů, zemská kůra, oceán a sladká voda, největším zdrojem však stále zůstávají mokřadní společenstva (Houghton, 1995). Emise metanu z tropických mokřadů však nebyla hlavní příčinou stoupaní koncentrace metanu, vzhledem ke snížení intenzity tropických letních monzunů. Potvrdilo se, že rozsáhlé oblasti v jihovýchodní Asii, v Indii, Arábii a severní Africe, které byly dříve více zasaženy tropickými monzuny, byly před 10 000 lety značně vlhčí a postupně pomalu vysychaly během posledních tisíců let. Dalším přírodním zdrojem zvýšení metanu by mohly být severské mokřady. Po nemalém průzkumu těchto mokřadních stanovišť se však tato teorie musela také zamítnout. V době neobvyklého zvýšení množství metanu před 5 000 lety se snížil rozdíl v koncentraci metanu v bublinách ledových jader v grónském a antarktickém ledu. Což ukazuje, že množství metanu ze sibiřské oblasti bylo stále stejné, nebo dokonce i nižší. Metan, který způsobil tento zvrat, tedy nepocházel ze severských zdrojů (Ruddiman, 2005).



Obr. č. 12 Sluneční maximum před 11 000 lety mělo za následek i metanové maximum. S klesáním slunečního záření klesala i koncentrace metanu. Před 5 000 lety byla koncentrace metanu nejnižší, ale od té doby nepřirozeně, vlivem činností člověka roste (Ruddiman, 2005).

Hlavní přirozené zdroje metanu jsme tedy museli vyloučit, jako původce zvratu ve zvýšení koncentrace metanu. Vylučovacím způsobem nám zůstali lidé, tedy antropogenní činnost. Je logické, že můžeme sledovat přírůstek metanu v ovzduší v době průmyslové revoluce a dál (Kadrnožka, 2008). Jakým způsobem však člověk ovlivnil nárůst metanu v atmosféře již před rozvojem průmyslu? Nejpravděpodobnějším vysvětlením je rozvoj zemědělství (Ruddiman, 2005). Živočišné odpady, skot a rýžová pole produkují mnohem větší množství metanu než četná velká území s mokřadními společenstvy (Kadrnožka, 2008). Uvolňování metanu způsobili lidé při žďáření lesů pro svá pole, při domestikaci skotu před tisíci lety na Blízkém východě a v jihovýchodní Asii, kdy se s rozrůstáním stáda domestikovaných zvířat zvyšovalo i množství metanu v ovzduší (Součková, 2008) a zakládáním polí rýže, kdy dochází v určitých fázích pěstování k rozvoji metanogenních bakterií (Ruddiman, 2005).

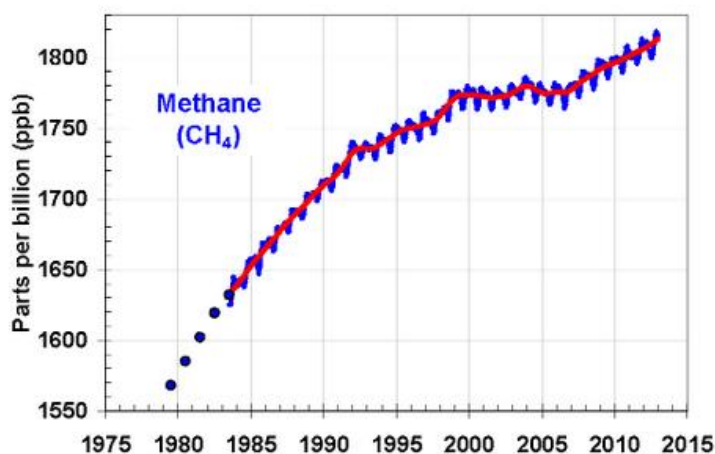
Asi nejdůležitější inovací v zemědělství, která přispěla k zvýšené produkci metanu, bylo odvádění vody z řek a její použití na zavlažování rýžových polí. Již před 7 000 lety se planá rýže v jihovýchodní Asii pěstovala, sbírala a sklízela. V této době se rozvíjelo na Blízkém východě zavlažování, které se pak rozšířilo dále do jihovýchodní Asie a jižní Číny. Tam se poprvé využilo v nížinných oblastech a tím se vytvořily umělé mokřady, kde během tlení docházelo k uvolňování metanu do ovzduší (Ruddiman, 2005).

Antropogenní činnost - rané zemědělství - tedy byla příčinou, která způsobila již před 5 000 lety náhlý nárůst koncentrace metanu v ovzduší. Vzhledem k poměrně krátké době života metanu v ovzduší, která je odhadovaná přibližně kolem 12 let (Siegenthaler, Joos, 1992; Houghton et al., 1996), muselo v posledních 5 000 letech docházet ke kontinuálnímu zvyšování přírůstku tohoto plynu v ovzduší, což odpovídá stále většímu počtu obyvatel a stále větší rozloze rýžových polí a větším stádům dobytka (Ruddiman, 2005).

Emise metanu se od doby před 5 000 lety do doby před průmyslovou revolucí také stále zvyšovala, jak je patrné z obrázku č. 12. Jaká však byla příčina tohoto růstu koncentrace metanu k roku 1700? Tak jako dnes jsou emise metanu spjaty s počtem nynějších obyvatel na planetě Zemi, můžeme předpokládat, že produkce metanu kolem roku 1700 závisela na množství lidí tehdy žijících. Abychom mohli zjistit

produkci tohoto skleníkového plynu, je třeba zanedbat zdroje metanu, které v době před rokem 1700 ještě neexistovaly, jako je například spalování ropy a zemního plynu. Jelikož máme vcelku přesný odhad žijících lidí v roce 1700, který činil asi 650 milionů obyvatel, a známe dnešní produkci metanu a počet obyvatel na planetě (přibližně 7 miliard lidí), přímou úměrou tak zjistíme, že lidé, žijící v roce 1700 museli vyprodukovat přibližně 11% metanu z dnešního množství. Toto zvýšení metanu, které činilo přibližně 100 ppb (obr. č. 12) a které bylo zaznamenáno od doby před 5 000 lety do doby před průmyslovou revolucí, tedy můžeme přisoudit lidské populaci (Ruddiman, 2005).

Před průmyslovou revolucí po dobu asi 500 000 let se koncentrace metanu v atmosféře pohybovala mezi 350 až 750 ppb (obr. č. 6). Velmi značný nárůst koncentrace metanu pak probíhal od roku 1700 (obr. č. 13) (Kadrnožka, 2008). Tento nárůst metanu vzhledem k průmyslové revoluci je předvídatelný. S revolucí přišly mnohé nové technologie a procesy, při kterých se emituje do ovzduší velké množství metanu a i dalších skleníkových plynů jako je oxid uhličitý. Spalování ropy, zemního plynu a těžba uhlí jsou hlavními zdroji tohoto nárůstu (Houghton et al., 1996). Kolem sedmdesátých let 20. století pak koncentrace metanu v atmosféře dosáhla asi 1 500 ppb a do roku 1987 tato koncentrace vystoupala asi o 11 procent (Simpson et al., 2006). Dnes se uvádí koncentrace metanu přibližně kolem 1 825 ppb (obr. č. 13) (NOAA, 2013).



Obr. č. 13 Vývoj koncentrace metanu v posledních přibližně třiceti letech (NOAA, 2013).

Koncentrace metanu od doby před 5 000 lety dodnes v průměru stále roste (obr. č. 12). Během 20. století docházelo k výraznému růstu metanu v atmosféře, ale během 90. let se růst začal zpomalovat a v letech 1999 až 2006 se množství metanu v ovzduší překvapivě ustálilo. Od roku 2007 však množství metanu v atmosféře opět mírně roste (Štros, 2014a). Léta 1995 až 2009 se zařazují k nejteplejším, podle záznamů z přístrojových pozorování globální teploty povrchu od roku 1850 (ČHMÚ, 2008f). Vzhledem k antropogenním zdrojům tohoto plynu, je velmi pravděpodobné že tyto koncentrace se budou i nadále zvyšovat a to i z důvodu, kterým je zadržený metan v sibiřské zmrzlé půdě a nakumulovaný ve dnech mělkých moří. Pokud tedy nedojde k pokusu omezit zdroje metanu, můžeme předpokládat jeho stálý růst i v budoucnosti.

5. Změny koncentrace metanu, způsobené lidskou činností

S návazností na předchozí kapitulu, která pojednává o vývoji koncentrace metanu v dávné minulosti Země až do současnosti, bude objasněno, které hlavní antropogenní zdroje tyto fluktuace koncentrace metanu v ovzduší způsobují. Většina dále jmenovaných procesů a technologií, které zvyšují koncentraci metanu, jsou také antropogenními zdroji dalších skleníkových plynů, jako je například oxid uhličitý, oxid dusný, vodní pára, chlorofluorované uhlovodíky, apod. (Štros, 2014a).

5.1. Zemědělská činnost

Zemědělská činnost je tedy jedním z antropogenních zdrojů, který emituje do ovzduší metan, ať už to je rostlinná či živočišná výroba. Jak je již zmíněno v předchozí kapitole, zvyšování koncentrace metanu začalo již mnohem dříve než v době průmyslové revoluce. Růst skleníkových plynů se v době industrializace zvyšoval, avšak k jeho růstu docházelo již před několika tisíci lety v době rozvoje zemědělství (Ruddiman, 2005).

Pěstování rýže je jedním ze zemědělských antropogenních zdrojů metanu. Metan zde vzniká zahňvacími procesy v rýžových polích, která potřebují vysoké množství vody (EU, 2014). S technickou vymožeností, jako je zavlažování, začal člověk zakládat velká rozsáhlá rýžová pole, která pak mohl vytvářet i tam, kam se

voda dříve nedostala a kde podmínky pro pěstování rýže nebyly vhodné. Tento rozsáhlý rozvoj rostlinné výroby tak způsobil zvýšení koncentrace metanu v ovzduší již v dávné době. Dalším původcem zvyšování tohoto skleníkového plynu je živočišná výroba, a to když se začal domestikovat skot a jiní přežvýkavci. Střevní fermentací u přežvýkavců se do ovzduší dostává další metan (Houghton, 1995). Součková (2008) uvádí, že metan, který zaživacím traktem vyprodukuje přežvýkavci (skot, ovce, kozy, buvoli) dnes dokonce činí přibližně 200 miliónů tun ročně. Zemědělská výroba - chov skotu, živočišné odpady a rýžová pole vyprodukuje přibližně o šedesát procent více metanu než rozsáhlé a početné světové mokřady (Kadrnožka, 2008).

5.2. Fosilní paliva

S nástupem průmyslové revoluce začala produkce a zpracování fosilních paliv, jež se staly pro lidi nezbytnou součástí. Fosilní paliva jsou zbytky organické hmoty, která se dochovala z prehistorické doby. Tato paliva najdeme v přírodě v různých podobách jako látky pevné, kapalné či plynné. Využívají se hlavně ke spalování v zařízeních, které pak vyrobí teplo nebo elektrickou energii (Škorpík, 2011). Mezi fosilní paliva řadíme uhlí, ropu a zemní plyn, jež jsou součástí uhelného, ropného a plynárenského průmyslu a dobývají se těžbou (Kadrnožka, 2008). Tento zdroj energie se stal pro člověka jedním z nejdůležitějších, ale stal se i zdrojem, který přispívá k nárůstu koncentrace metanu v ovzduší. Fosilní paliva a jejich zpracování se na zvyšování koncentrace metanu podílejí přibližně 25 procenty (Kadrnožka, 2008). Metan se do prostředí dostává například únikem z potrubí zemního plynu nebo únikem z naftových vrtů (Houghton, 1995). Produkce fosilních paliv v rozsáhlém průmyslu vyprodukuje jen o něco málo více než polovinu metanu, než již zmíněná zemědělská výroba. Při těžbě fosilních paliv největší množství metanu doprovází získávání ropy, její petrochemické zpracování a v neposlední řadě také její doprava, mnohdy na velké vzdálenosti (Kadrnožka, 2008). V ruských dálkových plynovodech tak dochází k únikům ve výši přibližně 0,6 procenta z přepravovaného množství. Vzhledem k tomu, jak velké množství zemního plynu Rusko za rok vytěží, což je přibližně 580 miliard m³, není 0,6 procenta málo. Ze Západní Sibíře tak Rusko dopraví do střední Evropy asi 155 miliard m³ zemního plynu ročně. Z uvedené ruské

roční těžby zemního plynu, pak úniky tvoří asi 3,5 milionů tun plynu ročně, což je asi 0,7 procent světových emisí metanu (Lechtenböhrer et al., 2006).

Produkce metanu při těžbě uhlí je jen o něco málo menší než produkce tohoto skleníkového plynu při těžbě a transportu ropy. V hlubinných dolech by se mohl metan a spolu s ním i další důlní plyny zachycovat pro energetické využití. Protože podstatnou součástí důlních plynů je metan, není možné při běžné těžbě plyny zachycovat, ale musejí být trvale odvětrávány a odváděny z důvodů bezpečnosti (Kadrnožka, 2008).

Tato fosilní paliva jsou tedy jedním z hlavních antropogenních zdrojů metanu. Metan vzniká v důlních dolech při těžbě uhlí, uniká při těžbě a transportu ropy a zemního plynu, jehož je metan hlavní složkou. Tyto emise metanu do ovzduší jsou tedy dalším podílem jeho zvyšování. Uhlí, ropný a plynárenský průmysl tak za rok vyprodukuje přibližně 100 milionů tun metanu. Fosilní paliva tak ze všech zdrojů metanu činí asi 25 procent (Houghton, 1995; Kadrnožka, 2008).

5.3. Další zdroje metanu

Vysoký počet obyvatel na Zemi, který činí asi 7 miliard obyvatel (Ruddiman, 2005) a jeho růst, přispívá ke zvyšování produkce odpadu, který se musí zpracovávat. Zpracování komunálního odpadu je velice důležité, ale i během těchto procesů dochází k uvolňování škodlivých látek do prostředí. Skládky, které přijímají více než 10 tun odpadu denně, nebo skládky, které mají celkovou kapacitu větší než 25 000 tun, spadají do kategorie zvláště velké zdroje znečištění (Sobek, 2005). Ve skládkách odpadů vzniká takzvaný skládkový plyn (Novák, Kovář, 2011), který je důsledkem rozkladných procesů uloženého odpadu. Tento plyn se skládá především z metanu a oxidu uhličitého (Fisher et al., 1999). Takto, se tedy do ovzduší emitují hlavní skleníkové plyny. Složení skládkového plynu se však mění, a to v závislosti na rychlosti jeho odčerpávání a na stáří dané skládky. Celkové možné množství vyprodukovaného plynu ze skládky se odhaduje na 100 – 300 m³ z jedné tuny tuhého komunálního odpadu. Z tohoto vyprodukovaného množství plynu je možné zachytit asi 20 – 70 procent. K největší produkci skládkového plynu pak dochází přibližně 5 až 13 let po jeho uložení. Odplynění skládky je nutné, aby se zabránilo akumulaci skládkového plynu, ta by mohla zapříčinit porušení izolační bariéry skládky, únik

plynu popřípadě i jeho výbuch. Skládkový plyn by se tedy měl uměle odčerpávat ze skládky, jinak migruje tělesem skládky nerovnoměrně vrstvami a všemi směry a to i podložními vrstvami (Malošík, 2010). Důsledkem toho, je pak neovladatelné unikání tohoto plynu do prostředí, zvyšování obsahu metanu v atmosféře a hrozí i nebezpečí vytvoření výbušné směsi se vzduchem.

5.4. Antropogenně podmíněné zdroje

5.4.1. Metanové hydráty

Zdroj metanu, který je uvolňován v důsledku růstu průměrné globální teploty, jsou hydráty metanu, které vznikají na dně mělkých moří za specifických teplotních a tlakových podmínek. K úniku metanu pak začalo docházet již v minulosti Země narušením ledového příkrovu v nízkých zeměpisných šířkách a další oteplování tak destabilizovalo další metanové hydráty kvůli jejich křehké tlakové a teplotní rovnováze. Tyto hydráty metanu jsou zde přítomné i dnes a to v mělkých oceánech na zaplavených okrajích pevniny. Tyto zdroje zůstávají v klidu, dokud je neaktivuje zvýšená teplota či pohyb (Kennedy et al., 2008).

5.4.2. Permafrost

Dalším zdroj metanu, který zde uvedu, je únik plynu, způsobený táním permafrostu (Kadrnožka, 2008). Tento zdroj plynu je sice přirozený, ale k jeho uvolňování dochází v důsledku zvýšené teploty na Zemi, tedy globálním oteplováním, které je zapříčiněné především i lidskou činností. Název „permafrost“ je zkratka z anglického „perennially frozen ground“, což znamená trvale zmrzlá půda. Tento pojem se používá u všech půd, jejichž teplota setrvává pod bodem mrazu (0°C) a to po dobu nejméně jednoho roku. Hlavní podmínkou pro vznik permafrostu je přítomnost vody v půdě, bez půdní vody se výrazné změny v půdě při poklesu pod bod mrazu nestanou. Zmrznutí vody znemožní migraci vody v půdě a sníží nebo eliminuje celou řadu dalších procesů. Na oblasti permafrostu pak navazuje dočasný permafrost, kde v létě dochází k rozmrznutí několika centimetrů půdy. Ještě více na jih se pak vyskytuje pásmo se sporadickým výskytem permafrostu, který má zmrzlé podloží, a tak brání vsakování vody a jejímu odtoku. Důsledkem toho se vytváří

rozlehlé dočasné mokřady (Kadrnožka, 2008). Mokřady tedy vytvářejí prostředí, ze kterého se uvolňuje velké množství metanu.

Rašeliniště na Sibiři se rozprostírají přibližně na ploše o rozloze více než 1 milion kilometrů čtverečních a zadržují v sobě stovky miliard tun skleníkových plynů. Tyto plyny se pak uvolňují do ovzduší během tání permafrostu (Kukliš, 2005). Permafrost na Sibiři je tvořen ze zmrzlé rašeliny, která tak zadržuje metan v množství přibližně 70 miliard tun. Kdyby se toto množství plynu uvolnilo, vzrostla by objemová koncentrace tohoto plynu v ovzduší o 24, 6 ppm², což znamená zvýšení průměrné koncentrace metanu v ovzduší o 35 až 60násobek původní koncentrace v minulosti Země (Kadrnožka, 2008). Permafrost se ale nevyskytuje pouze na Sibiři, touto zmrzlou půdou je pokryta i část Aljašky, Kanady, Severní Evropy, avšak sibiřská vrstva je nejrozsáhlejší, její rozloha tvoří více než 1 milion kilometrů čtverečních a průměrná mocnost vrstvy je 25 metrů (Kukliš, 2007).

Dalším zdrojem metanu může být led permafrostu. V této oblasti již v současnosti permafrost začíná jevit známky tání. Je dobré také zdůraznit, že v oblastech severní Sibiře, Arktidy a na Aljašce dochází ke zvyšování teploty 4krát až 6krát rychleji oproti průměrné globální teplotě v ostatních částech Země (Kadrnožka, 2008).

Vzhledem k obrovskému množství metanu, které je v severní oblasti zachyceno v permafrostu a ledu, a které se uvolňuje v důsledku ohřívání Země, vyvolává tento zdroj metanu velké obavy. Na první pohled a bez detailnějšího rozboru se tání permafrostu může jevit velice dramaticky, vzhledem k obrovské rozloze a mocnosti tohoto zdroje. Zmrzlá půda neroztaje náraz, ale bude tát postupně a postupně se bude i uvolňovat metan. Životnost tohoto skleníkového plynu je přibližně 12 let (Houghton, 1996), a tak se současně s uvolňováním plynu bude i rozkládat. Metan se v ovzduší rozkládá reakcí s hydroxylovými radikály OH, tyto radikály vznikají při působení slunečního záření reakcí mezi kyslíkem, ozónem a vodní párou (Kadrnožka, 2008). Na druhou stranu, se však během tání permafrostu

² z anglického *parts per million* tedy „části z milionu“ je jednotka koncentrace látky, která vyjadřuje počet objemových jednotek v milionu objemových jednotek vzduchu (Kadrnožka, 2008).

v těchto oblastech budou zvětšovat rozsáhlé mokřady a rašeliniště, které jsou největším přírodním zdrojem metanových emisí. Tání permafrostu už nyní způsobuje různé škody. Na Aljašce jsou nakloněné stromy, které byly ve zmrzlé půdě zakotveny několik desítek let, ale v dnešní době tající tundra způsobila nestabilitu těchto stromů. Působení silného větru pak způsobuje naklánění těchto stromů a někdy i vývraty. Postupné tání permafrostu má také vliv na mnohá obydlí a komunikace, které byly dříve postaveny na zmrzlé půdě, ale dnes se tato obydlí a silnice důsledkem tání boří a propadají (Kadrnožka, 2008).

5.5. Metan rozpuštěný v oceánech

Rozpuštěný metan v masách oceánských vod, může být další hrozbou. Plyny nahromaděné ve stojatých vodách náchylných k anoxii jsou pak příčinou explozivního uvolňování. Může dojít k erupci, která je tak zapříčiněná souhrou vztlakových sil. Rychlá změna může přijít s narušením rovnováhy a to například zemětřesením, sopečnou činností u dna moře, prouděním na základě geotermálního ohřívání či vnitřní gravitační vlnou. Takovéto narušení může způsobit erupci a vytlačení mořské vody. Následky metanem řízené oceánické erupce jsou pravděpodobně pro mořské a suchozemské živočichy katastrofální. V regionech postižených erupcí dojde k vymrštění metanu a dalších plynů do atmosféry a k zatopení rozsáhlého území.

Směs metanu a vzduchu je explozivní při koncentraci metanu mezi 5-15 %. Takovéto směsi se mohou vznítit a následná exploze může zničit suchozemský život a také vyprodukovat velké množství kouře a oxidu uhličitého. Kouř a prach odnesený do vyšších vrstev atmosféry zde může setrvat několik let a tma a globální ochlazení, které jsou následkem, mohou být dalšími smrtícími faktory. Naopak oxid uhličitý a zbývající metan mohou vyvolat skleníkový efekt, který může vést ke globálnímu oteplení (Ryskin, 2003). Efekt metanem řízené erupce na klima by mohl být drastický. Globální oteplování je stejně zřejmá možnost jako i globální ochlazování, pokud by velká erupce vyprodukovala obrovský mrak kouře a prachových částic do vrchních vrstev atmosféry. Výsledek soupeření mezi ochlazováním a oteplováním je tedy těžko odhadnutelný. Je proto nutné tomuto zdroji metanu také věnovat pozornost.

5.6. Shrnutí

Antropogenní zdroje za rok vyprodukují přibližně 375 miliónů tun metanu a přírodní zdroje asi 160 miliónů tun tohoto plynu (Houghton, 1995). Devatenáct procent ze všech zdrojů metanu pak tvoří fosilní paliva. Je důležité si uvědomit, že emise metanu do ovzduší z lidské činnosti, je přímo úměrná počtu obyvatel na Zemi a pravděpodobně tento vliv i narůstá (Kadrnožka, 2008). Vzhledem k vysokému obsahu tohoto plynu v atmosféře a jeho nárůstu, který je z větší části zapříčiněn výše zmíněnými antropogenními činnostmi, je zapotřebí těmto zdrojům věnovat pozornost. Zaměřit se detailně na jednotlivé zdroje metanu a na jejich možné souvislosti a snažit se vymyslet řešení, která by tento trend nárůstu koncentrace metanu snížila.

6. Výhled do budoucnosti

Největším přírodním zdrojem metanu jsou všechny mokřady a rašeliniště, ve kterých probíhá anaerobní rozklad organické hmoty, který produkuje vysoké množství metanu. Houghton (1995) uvádí, že tyto zamokřené oblasti vyprodukují až 115 miliónů tun metanu ročně. Oblasti jako je severní část Sibíře, Aljaška, Kanada a severní část Evropy pokrývá permafrost (Kukliš, 2007). Permafrost je trvale zmrzlá půda a na Sibíři jej tvoří zmrzlá rašelina, která v sobě zadržuje přibližně 70 miliard tun metanu, který se roztáváním uvolňuje. Je dobré zdůraznit, že globální ohřívání Země není rovnoměrné, nejméně se projevuje v oblastech, kde je nejvyšší průměrná povrchová teplota a to jsou oblasti okolo rovníku. Nejvíce se pak projevuje tam, kde je průměrná teplota nejnižší a to v nejvyšších nadmořských výškách a v oblasti kolem pólů. Globální teplota vzduchu se do roku 2005 zvýšila přibližně o 0,9 °C (v Evropě to pak bylo o 1°C), v oblastech Aljašky, severní části Sibíře a Kanady pak toto zvýšení činilo 3 až 5 °C. Kdyby se teplota zvýšila v následujících dvaceti, třiceti či padesáti letech o 2,5 až 3 °C, v oblastech rovníku se teplota zvýší přibližně o 0,6 až 0,8 °C, u pólů to však může být 10 až 14°C, což už je markantní rozdíl (Kadrnožka, 2008). Trvalý permafrost by zmenšoval svou plochu a zvětšovala by se plocha občasného permafrostu. Toto zvyšování teploty, by pak způsobilo tání permafrostu v severních oblastech a z rašeliny by se začal uvolňovat metan. V této

severní oblasti je však uvězněno ještě další veliké množství metanu, které tvoří ložiska hydrátu metanu, která jsou v mořském dně. Pod hladinou Severního ledového oceánu se nachází přibližně 540 miliard tun metanu. Tento zdroj se zdál doposud stabilní, ale v posledních letech se stal porézním a začal unikat (Kukliš, 2008). Je však otázkou zda tento únik metanu bude postupný či náhlý a zda bude trvat roky či desetiletí nebo ještě mnohem déle, vzhledem nevědomosti o jeho stabilitě. Naopak metan ze severských rašelinišť se bude uvolňovat postupně s postupným roztáváním permafrostu a tak se po tuto dobu bude metan v atmosféře i odbourávat (Kadrnožka, 2008). Na druhou stranu, se ze severských oblastí bude uvolňovat značné množství tohoto skleníkového plynu, vzhledem ke značné rozloze těchto zdrojů a množství zadrženého metanu, a je pravděpodobné že rozklad nebude dostatečně rychlý.

Dalším budoucím zdrojem zůstávají rýžová pole s vysokým množstvím vody a v ní tlející organické hmoty, která jsou jedním z hlavních zdrojů metanu. Také ostatní zemědělská výroba, jak rostlinná tak živočišná zůstává největším antropogenním zdrojem metanu. Houghton (1995) uvádí, že rýžová pole, přežvýkavci a živočišné odpady produkují asi o 60 procent více metanu než rozsáhlé světové mokřady. Vzhledem k tomu, že zemědělství je zdrojem potravy pro lidi, není možné této produkci metanu do ovzduší zabránit, ale je třeba zhodnotit možnosti, které by tuto produkci snížily. Například v prostorách, kde je dobytek chován, by se produkovaný metan mohl odchyťovat a dále zpracovávat. Manipulace se zemědělskými odpady pak přináší další velké úniky metanu, které by se však daly snížit procesem kompostování těchto odpadů, který výrazně snižuje emise metanu do ovzduší přeměnou organických látek na humus (Jelínek, Plíva, 2003).

Od průmyslové revoluce, kde se rozvíjelo mnoho odvětví průmyslu jako je například uhelný, ropný a plynárenský, začali lidé tyto zdroje využívat k získání energie. Těžba, zpracování a transport těchto látek způsobují také úniky metanových emisí do ovzduší (Houghton, 1995). Je třeba, proto lépe v průmyslu zabezpečit úniky metanu, ke kterým dochází například v systému ruských dálkových plynovodů. Snažit se zachytit metan při těžbě uhlí, aby nedošlo k jeho samovolnému úniku do ovzduší. Celkově pak snížit produkci, zpracování a využívání fosilních paliv a podpořit obnovitelné zdroje, jako zdroje energie.

Metanových zdrojů na Zemi najdeme celou řadu, ať jsou antropogenního či přírodního původu. Všechny tyto zdroje jako jsou rýžová pole, chov dobytka, mokřady, permafrost, zpracování fosilních paliv, hoření biomasy, živočišné odpady, metanové hydráty či zpracování lidského odpadu a další jsou nedílnou součástí dnešního světa a lidských potřeb a zastavení jejich produkce je nemožné. Je třeba tedy prozkoumat možnosti jednotlivých zdrojů metanu a jejich vzájemné korelace a najít možná řešení k jejich snížení. S tím souvisí i budoucí vývoj a předpovědi, kterým se mnoho vědců věnuje. Existují mnohé klimatické modely a emisní scénáře, které propočítávají možný budoucí vývoj klimatického systému, klíčovým vstupním údajem je však budoucí koncentrace skleníkových plynů (ČHMÚ, 2008g). Proto je potřeba vědět, nejen že skleníkové plyny budou přibývat, ale také jakou rychlostí se koncentrace budou zvyšovat. Množství těchto skleníkových plynů však bude především záviset na technologickém, ekonomickém a politickém vývoji. Do klimatických modelů se proto zahrnují i různé scénáře budoucího vývoje koncentrací skleníkových plynů, které závisí například na technologických trendech, vývoji ekonomiky, růstu lidské populace i na politických změnách (Metelka, Tolasz, 2009). Je ale důležité tyto scénáře chápat spíše jako eventuality budoucího vývoje, ne přímo jako předpovědi. Velmi značný zájem médií o tyto globální problémy, jako je růst teploty způsobené produkcí skleníkových plynů, však mnohdy interpretuje katastrofické scénáře budoucího vývoje klimatu, které ne vždy jsou podloženy vědeckými poznatky a výzkumy nebo průkaznými důkazy (Kutílek, 2007). Klimatický systém je velice komplikovaný a chce-li člověk na jeho současné i budoucí predikované změny optimálně reagovat musí brát v úvahu výzkumy klimatického systému, příčiny změn a předpokládaný budoucí vývoj.

Predikovaný růst metanu se dá předpokládat, nejen kvůli zemědělským produkcím a spalováním fosilních paliv, ale také vzhledem k velké kumulaci tohoto plynu ve zmrzlých rašeliništích a na dně moře v severských oblastech (Kukliš, 2005; Kukliš, 2007). Unikání metanu ze dna moří je však velice špatně předpověditelné vzhledem k nestabilitě těchto metanových klatrátů, které jsou zde drženy ve velmi křehké tlakové a teplotní rovnováze (Kennedy et al., 2008). V dnešní době se úniky z těchto zdrojů již zaznamenaly (Kukliš, 2007), avšak je těžké určit, zda další emise metanu budou postupné či náhlé a jak dlouho to bude trvat a jestli bude rozklad

metanu dostatečně úměrně rychlý k jeho produkci. Lze předpokládat, že přirozeným rozkladem v atmosféře se nestihne odbourávat nadměrně vysoká koncentrace metanu, vzhledem k jeho značně velkým zdrojům.

7. Závěr

Metan je jedním z důležitých skleníkových plynů, který se v ovzduší vyskytuje a který je schopen díky svým chemickým a fyzikálním vlastnostem způsobovat zvýšené zahřívání atmosféry Země (ČHMÚ, 2014e). Skleníkový efekt, který tento plyn způsobuje je proces, který je na Zemi přirozený a bez metanu a dalších skleníkových plynů v atmosféře by průměrná globální teplota Země byla přibližně -6°C (Houghton, 1995). Přirozený skleníkový efekt je však zesilován zvyšováním koncentrace skleníkových plynů (Kadrnožka, 2008), které jsou emitovány z různých přirozených i antropogenních zdrojů. Přírodní zdroje metanu jsou součástí biosféry Země a patří sem například rozsáhlé světové mokřady, termitiště, akumulace metanu v oceánech, živočišné odpady.

Koncentrace metanu v atmosféře se v průřezu vývoje Země mění díky fyzikálním a chemickým procesům. Predikce klesání metanu v atmosféře před mnoha tisíci lety se nenaplnila a v době před 5 000 lety začala stoupat (Ruddiman, 2005). Tento nárůst koncentrace metanu zaznamenáváme z doby rozvoje prvních civilizací a to díky rozvoji zemědělství a s tím spojeným chovem dobytka a pěstování rýže. Mnohonásobně se tak začala rozrůstat rýžová pole, která jsou jedním z hlavních zdrojů emise metanu (Houghton, 1995). Domestikace dobytka byla jedním z dalších faktorů, který již před průmyslovou revolucí způsobil zvýšení koncentrace metanu. Další zvyšování koncentrace metanu pak nastalo v době průmyslové revoluce, kdy se začala těžit, zpracovávat, přepravovat a spalovat fosilní paliva. Dnešní stav je vážný, protože zvýšení průměrné globální teploty zapříčinilo uvolňování metanu ze severského permafrostu, kde je zadrženo velké množství tohoto plynu (Kadrnožka, 2008). Permafrost je tedy přírodní zdroj, který je antropogenně podmíněn díky globálnímu oteplování. Dalším antropogenním zdrojem metanu jsou například skládky odpadů.

Budoucí vývoj koncentrace metanu závisí jak na jeho uvolňování z přírodních zdrojů, tak především na antropogenních zdrojích, které budou ovlivněny například technologickým, ekonomickým a politickým vývojem.

V této práci jsem zpracovala stručný přehled o koncentraci metanu v atmosféře již od dávné doby Země po současnost, následky tohoto zvyšování a skleníkový efekt, který je důsledkem zvyšování koncentrace. Popis jednotlivých zdrojů metanu a jejich případná vzájemná korelace a přehled vývoje tohoto plynu v ovzduší je dobrým základem pro odhadování budoucího vývoje koncentrace metanu v atmosféře a uceluje informace o tomto důležitém skleníkovém plynu. Lze predikovat, že zvyšování metanu je pravděpodobné i přes jeho přirozené odbourávání v přírodě a to především vzhledem k jeho velkým zdrojům.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů

Air liquide, 2013: Methan. Gas Encyclopedia. Air liquide, Paris, online: <http://encyclopedia.airliquide.com/encyclopedia.asp?GasID=41&CountryID=33&LanguageID=17#GeneralData>, cit. 10. 4. 2014.

Břížďala J., 2014: Alkany a cykloalkany. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha, online: <http://www.e-chembook.eu/cz/organicka-chemie/alkany-a-cykloalkany>, cit. 14. 3. 2014.

Cronin T. M., 1999: Principles of Paleoclimatology. Columbia University Press, New York.

ČHMÚ, 2008a: Úvod do problému klimatické změny. Český hydrometeorologický ústav, Praha, online: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap01.pdf, cit. 14. 3. 2014.

ČHMÚ, 2008b: Klimatický systém. Český hydrometeorologický ústav, Praha, online: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap02.pdf, cit. 14. 3. 2014.

ČHMÚ, 2008c: Příčiny změn klimatu. Český hydrometeorologický ústav, Praha, online: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap03.pdf, cit. 14. 3. 2014.

ČHMÚ, 2008d: Vývoj klimatu v minulosti. Český hydrometeorologický ústav, Praha, online: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap04.pdf, cit. 14. 3. 2014.

ČHMÚ, 2008e: Skleníkový efekt. Český hydrometeorologický ústav, Praha, online: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap05.pdf, cit. 14. 3. 2014.

ČHMÚ, 2008f: Pozorované změny klimatu. Český hydrometeorologický ústav, Praha, online:

http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap06.pdf, cit. 14. 3. 2014.

ČHMÚ, 2008g: Scénář budoucího vývoje světového klimatu. Český hydrometeorologický ústav, Praha, online:

http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap08.pdf, cit. 14. 3. 2014.

ČHMÚ, 2008h: Základní otázky a odpovědi. Změna klimatu. Český hydrometeorologický ústav, Praha, online:

http://www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_10_Zmena_klimatu/P4_1_10_3_Otazky_a_odpovedi&last=false, cit. 14. 3. 2014.

Dolejšková J., Marek Z., Hejtmánková A., Mader P., 2010: Chemie I. Vybrané kapitoly z obecné, anorganické a analytické chemie. Česká zemědělská univerzita, Praha.

EU, 2014: Skleníkové plyny. Evropská unie, online:

http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/gases_cs.pdf, cit. 14. 3. 2014.

Fisher C., Maurice C. et Lagerkvist A. 1999: Gas Emission from Landfills – An overview of issues and research needs. Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm.

Fuller D. Q., Etten van J., Manning K., Castillo C., Kingwell-Banham E., Weisskopf A., Qin L., Sato Y., Hijmans R., 2011: The contribution of rice agriculture and livestock pastoralism to prehistoric methane levels: An archaeological assessment. *The Holocene* 21: 743 – 759.

Houghton J. T., 1995: *Global Warming: The Complete Briefing*. Lion Publishing, Oxford, England.

Houghton J. T., Jenkins G. J., Ephraim J. J. [eds], 1990: *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney.

Houghton J. T., Meira Filho L. G., Callander B. A., Harris N., Katenberg A., Maskell K. [eds], 1996: *Climate Change 1995. The science of climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.

Chromov S. P., 1968: *Meteorológia a klimatológia*, Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, Bratislava.

Jelínek A., Plíva, P., 2003: Emise metanu ze zemědělské činnosti. *Biom.cz*, online: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-metanu-ze-zemedelske-cinnosti>, cit. 30. 3. 2014.

Kadrnožka J., 2008: *Globální oteplování Země. Příčiny, průběh, důsledky, řešení*. VUTIUM, Brno.

Kennedy M., Mrofka D., von der Borch CH., 2008: Snowball Earth terminativ by destabilization of equatorial permafrost methane clathrate. *Nature* 453: 642 – 645.

Köppen W., 1931: *Grundriss der Klimakunde*. Berlin, Leipzig.

Kukliš L., 2005: Sibiřský permafrost taje – zlom v globálním oteplování. *Gnosis9.net*, online: <http://gnosis9.net/view.php?cisloclanku=2006060001>, cit. 29. 3. 2014.

Kukliš L., 2007: Zimov: Tání permafrostu na Sibiři se stává globální hrozbou. *Gnosis9.net*, online: <http://gnosis9.net/view.php?cisloclanku=2007090018>, cit. 29. 3. 2014.

Kukliš L., 2014: Koncentrace skleníkových plynů v atmosféře. *Gnosis9.net*, online: <http://gnosis9.net/koncentrace.php>, cit. 27. 3. 2014.

Kutílek M., 2007: *Globální oteplování a klimatické změny v minulosti*. Centrum pro ekonomiku a politiku, online: <http://cepin.cz/cze/clanek.php?ID=742>, cit. 30. 3. 2014.

Lechtenböhrer S. et al., 2006: Russian Long Distance Gas Transmission Pipelines: Methane Losses, Mitigation Options, and Policy Issues. Climate Change Technology Conference, Ottawa.

Le Treut H., Somerville R., Cubasch U., Ding Y., Mauritzen C., Mokssit A., Peterson, T., Prather M., 2007: Historical Overview of Climate Change. In: Climate Change, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., Miller H. L. [eds.]]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Louergue L. et al., 2008a: EPICA Dome C Ice Core, 800 KYr Methane Data. IGBP PAGES, World Data Center for Paleoclimatology, Data Contribution Series # 2008 - 054. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA, online: http://cdiac.ornl.gov/images/air_bubbles_historical.jpg, cit. 28. 3. 2014.

Louergue L. et al., 2008b: EPICA Dome C Ice Core, 800 KYr Methane Data. IGBP PAGES, World Data Center for Paleoclimatology, Data Contribution Series # 2008 - 054. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA, online: http://cdiac.ornl.gov/trends/atm_meth/ice_core_methane.html, cit. 28. 3. 2014.

Malošík D., 2010: Využití skládkového plynu – odplynění skládek komunálních odpadů. NWT a.s., Hulín, online: http://www.nwt.cz/lang_cs/clanek/3/63/2103/108.html, cit. 29. 3. 2014.

Metelka L., Tolasz R., 2009: Klimatické změny: fakta bez mýtů. Centrum pro otázky životního prostředí. Univerzita Karlova, Praha, online: <http://www.cz.boell.org/downloads/klimaticke-zmeny-web.pdf>, cit. 14. 3. 2014.

MŽP, 2012: Metan. Integrovaný registr znečišťování. Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha, online: <http://www.irz.cz/repository/latky/methan.pdf>, cit. 14. 3. 2014

Nábělková J., Nekovářová J., 2010: Chemie. Chemie životního prostředí. ČVÚT, Praha.

Nemešová I., Pretel J., 1998: Skleníkový efekt a životní prostředí. Podstata, rizika, možná řešení a mezinárodní souvislosti. MŽP, ČHMÚ et AV ČR, Praha.

NOAA, 2013: The NOAA Annual greenhouse gas index. National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory, Broadway, Boulder, online: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>, cit. 10. 4. 2014.

Novák P., Kovář L., 2011: Povrchové emise metanu ze skládek komunálního odpadu a jejich měření pro provozní praxi. Biom.cz, online: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/povrchove-emise-metanu-ze-skladek-komunalniho-odpadu-a-jejich-mereni-pro-provozni-praxi>, cit. 29. 3. 2014.

Parker S. P. [ed.], 1988: Meteorology Source Book. McGraw-Hill Book Company, New York.

Pastorek Z., 2008: Bioplyn – užitečný zdroj energie nebo riskantní způsob podnikání. Biom.cz, online: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-uzitecny-zdroj-energie-nebo-riskantni-zpusob-podnikani>, cit. 29. 3. 2014.

Popl M., Fährlich J., 1999: Analytická chemie životního prostředí, VŠCHT, Praha.

Ruddiman W. F., 2005: Plows, Plagues and Petroleum. How humus Took Control of Climate, Princeton University Press. Princeton.

Ruddiman W. F., Guo Z., Zhou X., Wu H., Yu Y., 2008: Early rice fading and anomalous methane trends. Quaternary Science Reviews 27: 1291 – 1295.

Ryskin G., 2003: Methane-driven oceanic eruptions and mass extinctions. Geology, September 31: 741 – 744.

Siegenthaler U., Joss F., 1992: Use of a simple model for studying oceanic tracer distribution and the global carbon cycle. Tellus 44B: 186 – 207.

Simpson I. J., Rolland F. S., Meinardi S., Blake D. R., 2006: Influence of biomass burning during recent fluctuations in the slow growth of global tropospheric methane. Geophysical Research Letters 33: 1 – 5.

Sobek M., 2005: Stanovení emisí metanu ze skládek odpadů. Odpady, online: <http://www.enviweb.cz/clanek/odpady/51544/stanoveni-emisi-methanu-ze-skladek-odpadu>, cit. 29. 3. 2014.

Součková H., bez data vydání: Využití bioplynu v zemědělství. Česká energetická agentura, Praha. In: Globální oteplování Země. Příčiny, průběh, důsledky, řešení, 2008. [Kadrnožka J.], VUTIUM, Brno.

Škorpík J., 2011: Fosilní paliva, jejich využití v energetice a ekologické dopady. Transformační technologie, Brno, online: <http://www.transformacni-technologie.cz/fosilni-paliva-jejich-vyuziti-v-energetice-a-ekologicke-dopady.html>, cit. 28. 3. 2014.

Štros M., 2014a: Skleníkový efekt. Globální oteplování, online: <http://www.meteocentrum.cz/zmeny-klimatu/sklenikovy-efekt.php>, cit. 14. 3. 2014.

Štros, M., 2014b: Globální klimatický systém. Globální oteplování, online: <http://www.meteocentrum.cz/zmeny-klimatu/klimaticky-system-fungovani.php>, cit. 14. 3. 2014.

Teplý P. et Konopásek I., 2012: Media s námi o nás: zeptejte se vědců. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha, online: <http://www.natur.cuni.cz/fakulta/aktuality/media-s-nami-a-o-nas-zeptejte-se-vedcu-14.3.2012-lidove-noviny>, cit. 28. 3. 2014.

Trenberth K. E., 1992: Climate System Modeling. Cambridge University Press, Cambridge.

Víden I., 2005: Chemie ovzduší, VŠCHT, Praha, online: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-571-4/pages-img/004.html, cit. 14. 3. 2014.

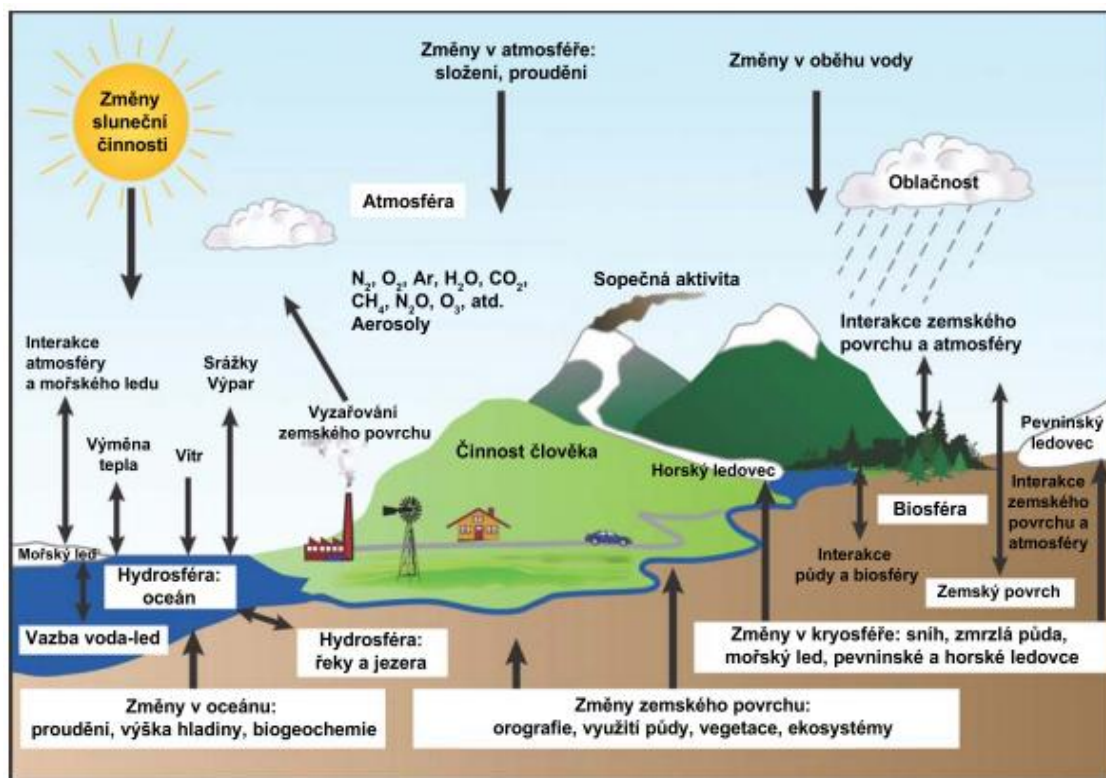
VŠCHT, 2014: II. Uhlovodíky. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha, online: <http://uoch.vscht.cz/cz/studium/bakalar/organika/Velebudice/Velebudice2.pdf>, cit. 14. 3. 2014.

Watson R. T., Meira Filho L. G., Sanhueza E. et Janetos A., 1992: Greenhouse gases: sources and sinks. In: Climate Change, 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment [Houghton J. T., Callander B. A. et Varney S. K. [eds]]. Cambridge University Press, Cambridge, 25 – 46.

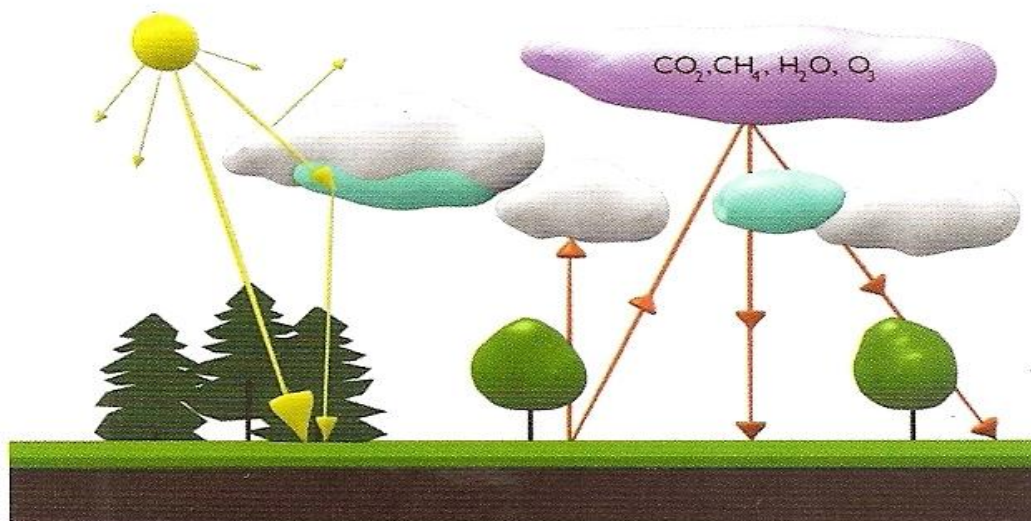
WMO, 2012: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Using Global Observations through 2012. World Meteorological Organization, Switzerland, Geneva, online: <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/ghg9-en-online.html>, cit. 10. 4. 2014.

Wyrtki K., 1982: The southern Oscillation, ocean-atmosphere interaction, and El Niño. Marine Technology Society Journal 16: 3 – 10.

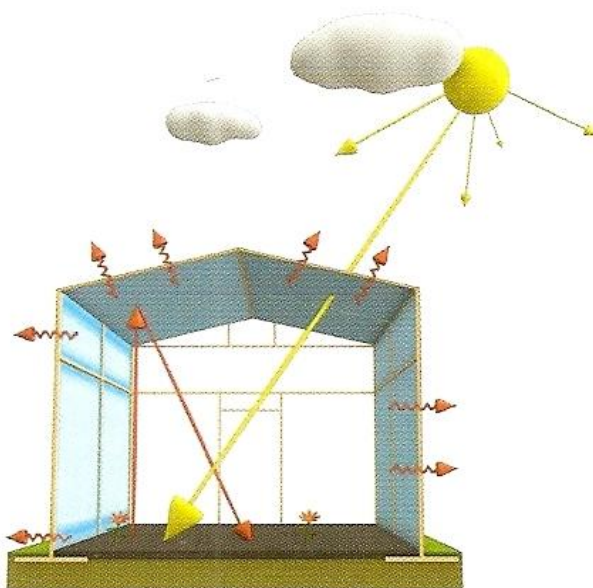
9. Přílohy



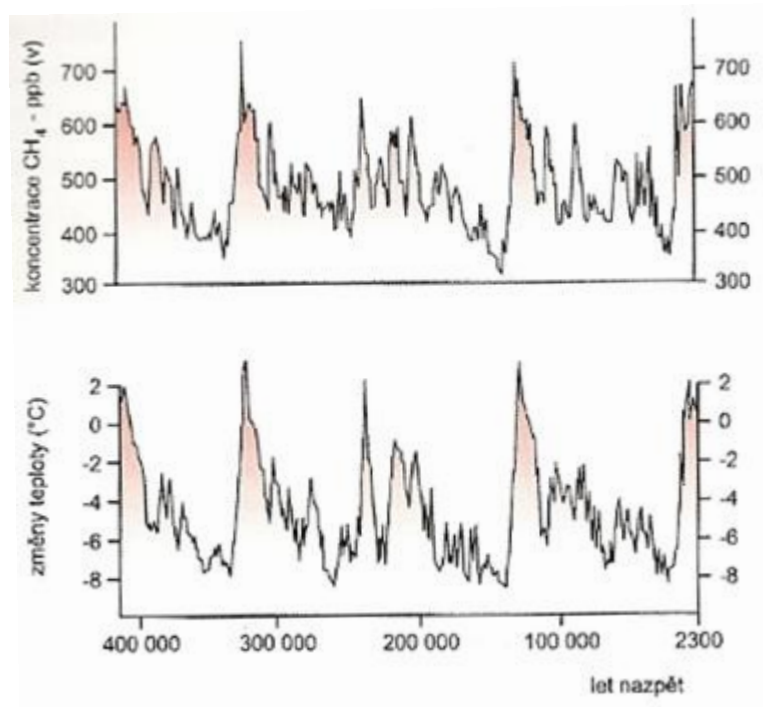
Obr. č. 2 Znárodnění základních částí klimatického systému Země. (Le Treut et al, 2007).



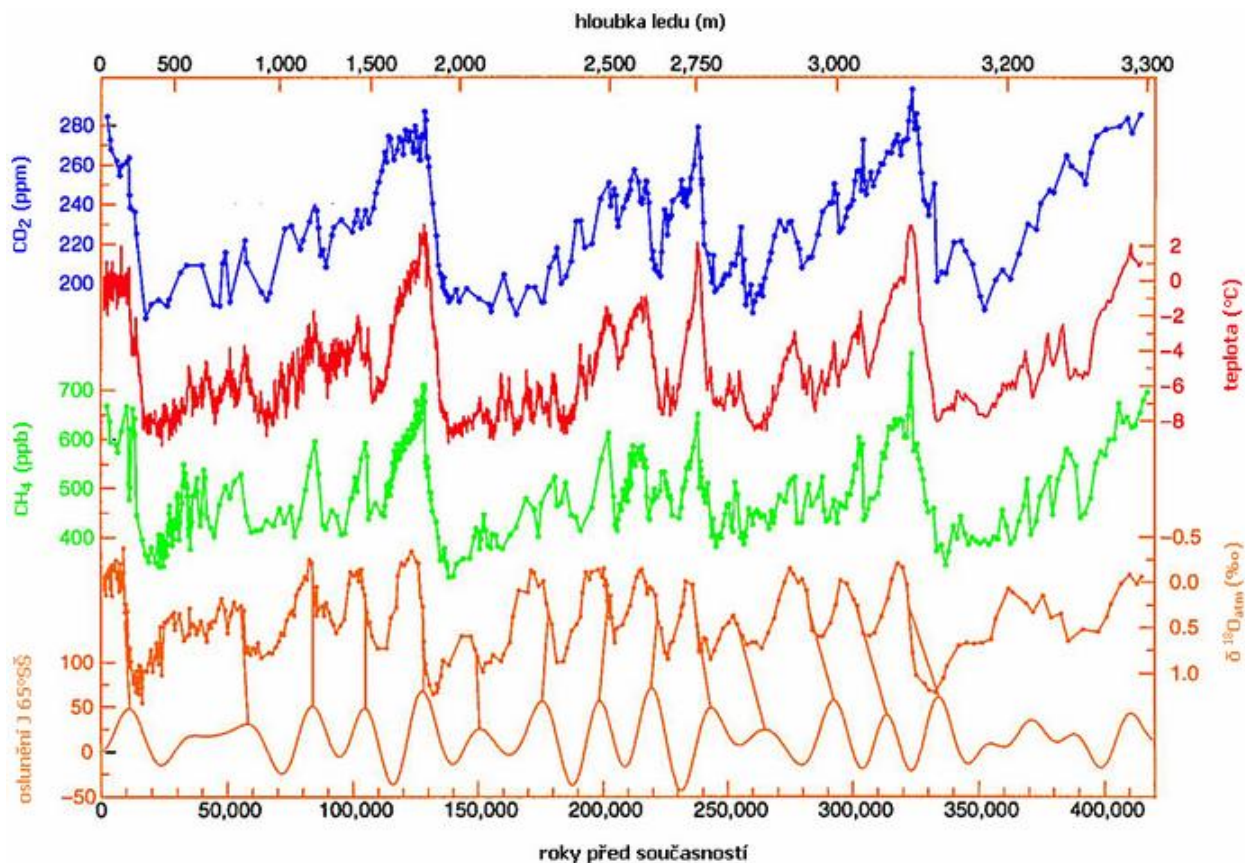
Obr. č. 4 Pronikání slunečního záření zemskou atmosférou. Skleníkové plyny pohlcují tepelné záření ze Země a podstata skleníkového efektu (Kadrnočka, 2008).



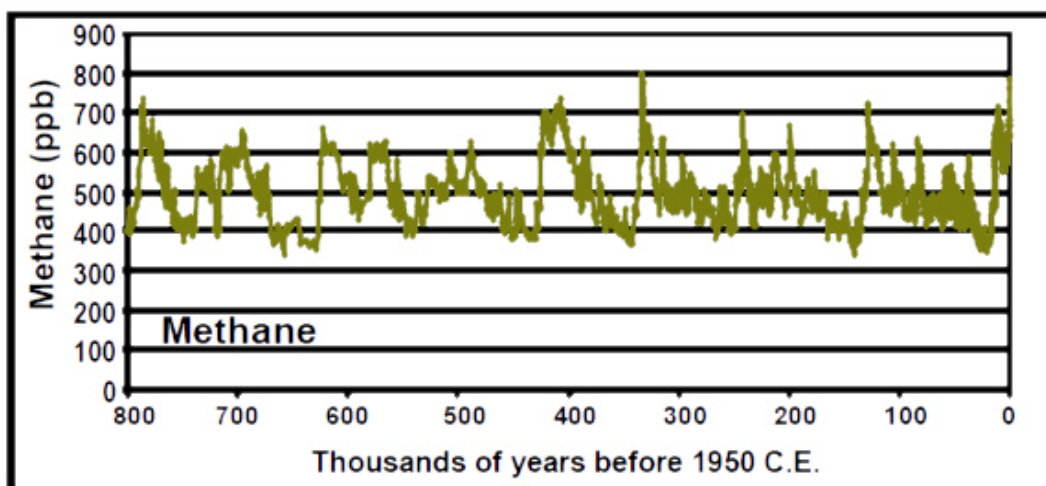
Obr. č. 5 Znázornění skleníkového efektu ve skleníku (Kadrnožka, 2008).



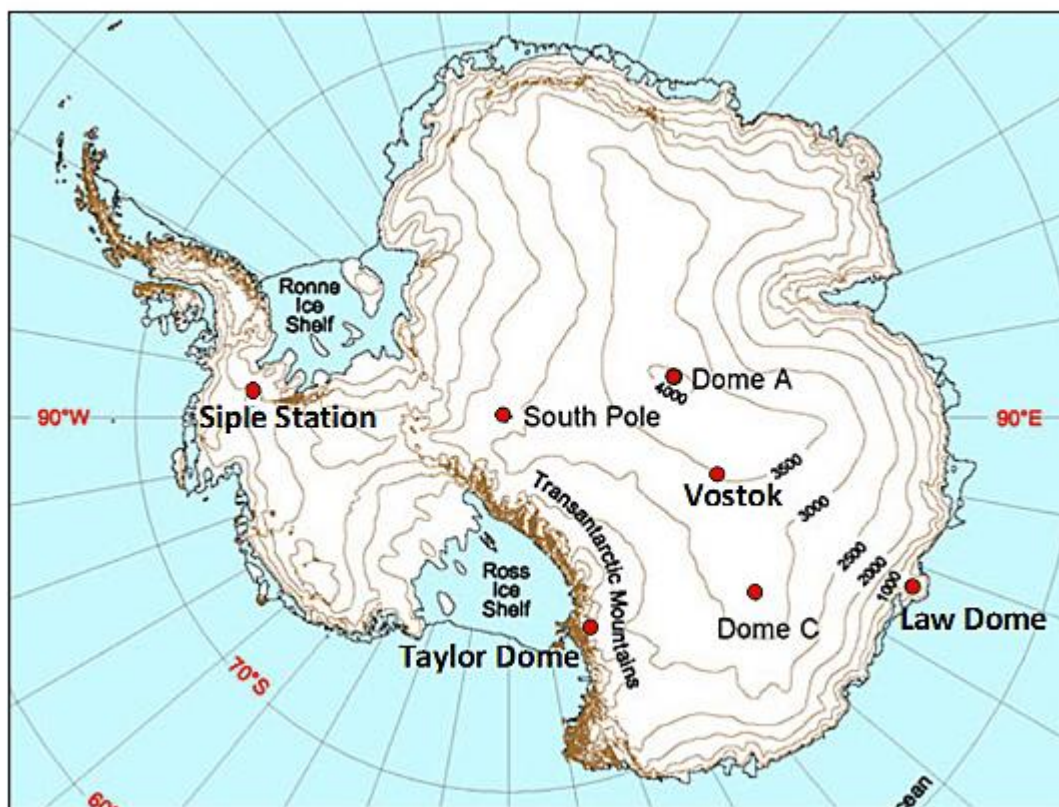
Obr. č. 6 Průběh koncentrace metanu v atmosféře Země a průběh změn průměrné globální teploty za posledních přibližně 420 tisíc let vzhledem k dnešní hodnotě. (Kadrnožka, 2008).



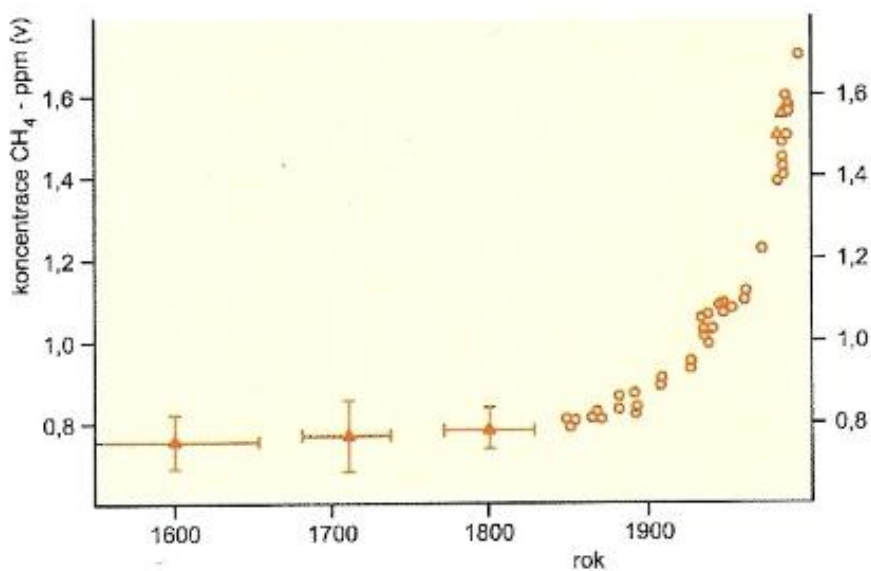
Obr. č. 8 Graf srovnává změny koncentrace oxidu uhličitého a metanu v atmosféře a změny teploty vzduchu. Zachycuje také, z jaké hloubky pochází led použitý při rekonstrukci historie klimatu (Kukliš, 2014).



Obr. č. 9 Koncentrace metanu zjištěné z Antarktických ledovcových vrtů ze stanice Dome C. Tisíce let před rokem 1950 (na ose rok 0) (Loulergue et al., 2008a).



Obr. č. 10 Antarktický ledovec. Červenými kroužky jsou označeny stanice, kde se odebírají vzorky ledovcových jader (Loulergue et al., 2008b).



Obr. č. 13 Vývoj nárůstu koncentrace metanu v ovzduší od roku 1700 (Kadmožka, 2008).