

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie
Studijní obor: Hospodaření s přírodními zdroji



Mlha jako faktor podílející se na celkové atmosférické depozici

Fog as contributor to the total atmospheric deposition

Bakalářská práce

Anna Samcová

Vedoucí: doc. RNDr. Iva Hůnová, CSc.

Praha, 2014

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval/a samostatně a že jsem uvedl/a všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 14. 5. 2014

Podpis

Ráda bych poděkovala všem, kteří mi pomáhali při přípravě mé bakalářské práce, za jejich laskavost a trpělivost a za cenné odborné rady a připomínky.

Abstrakt

Práce je rešerší odborné literatury. Cílem je zhodnocení informací vlivu mlhy na celkové množství vstupujících látek do ekosystémů procesem atmosférické depozice. Shrnuje třídění mlhy, jejich výskyt a základní informace o chemismu. Atmosférická depozice je dlouho zkoumaným procesem, při kterém dochází k transportu látek z atmosféry na zemský povrch. Je dělena na suchou a mokrou; mokrá atmosférická depozice se dále dělí na vertikální a horizontální. Velikost vlivu mokré složky atmosférické depozice závisí na nadmořské výšce, zhruba od 800 m n. m. začíná mít významný podíl horizontální složka atmosférické depozice (tj. např. mlha). Existuje Mlh několik typů, jsou děleny podle různých kritérií, např. podle vzniku, dohlednosti nebo doby trvání a nejčastěji se vyskytují na místech s velkým obsahem vlhkosti. Na území České republiky je iontový příspěvek mlhy k atmosférické depozici podceňován. Nejvíce zastoupenými ionty v mlžné depozici jsou SO_4^{2-} , NO_3^- a NH_4^+ , které mohou být zároveň kondenzačními jádry. Celková atmosférická depozice je počítána ze součtu suché a mokré vertikální depozice a depozice z mlhy je zanedbávána. Tato málo prozkoumaná problematika je sledována po celém světě.

Klíčová slova: atmosférická depozice, horizontální depozice, mlha

Summary

This paper is a research of scientific literature. Its objective is to evaluate the impact of fog on the total amount of substances entering ecosystems through the atmospheric deposition process. It summarizes the division of different kinds of fog, its occurrence and basic information about its chemistry.

Atmospheric deposition is a process in which substances are transported from the atmosphere to Earth's surface. There is a wet deposition type as well as a dry one. The wet atmospheric deposition is then divided into vertical and horizontal. The influence of the wet atmospheric deposition depends on the altitude. From the elevation of 800 meters above the sea level there is a significant increase in the horizontal component of the atmospheric deposition (e.g. a fog). There are several different kinds of fog that are divided according to diverse criteria. For example depending of their origin, the inside visibility or their duration. Fog is commonly found in places with large humidity. In the Czech Republic region the ion contribution of fog to atmospheric definition is quite underrated. Most common ions in the fog deposition are SO_4^{2-} , NO_3^- and NH_4^+ . These easily become a condensation core for droplets. Atmospheric deposition in total is calculated as the sum of wet and dry vertical components. The fog originated deposition is often neglected. This little inspected issue is researched in many scientific facilities spread all across the world and therefore the results are not very complex.

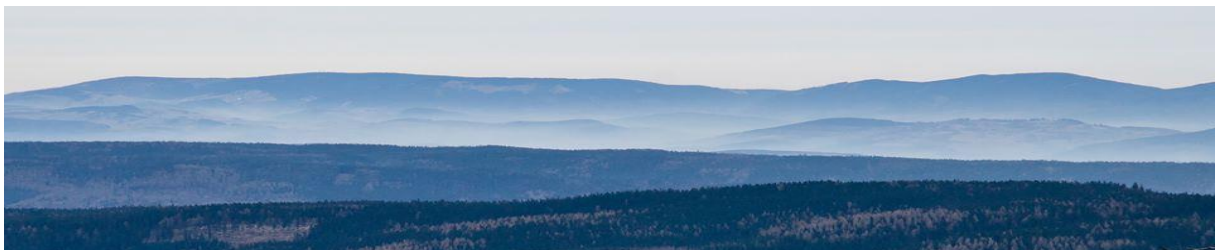
Key words: atmospheric deposition, horizontal deposition, fog

Obsah

1. Úvod	1
2. Co je to mlha.....	2
2.1 Chemické složení	2
2.2 Jak mlha vzniká	4
2.3 Kde vzniká mlha – oblasti a význam nadmořské výšky.....	5
3. Atmosférická depozice	6
4. Typy mlhy.....	8
4.1 Advekční mlhy	8
4.1.1 Mlhy při advekci teplého vzduchu nad studený povrch	8
4.1.2 Mlhy při advekci studeného vzduchu nad teplý vodní povrch	9
4.2 Radiační mlha neboli mlha z vyzařování	9
4.3 Radiačně advekční mlhy, kombinace	10
4.4 Mlhy frontální.....	10
4.5 Další dělení mlh.....	10
5. Mechanismy vzniku.....	11
6. Znečištění mlh	12
7. Frekvence výskytu mlhy.....	13
8. Příklady pozorování mlh v různých zemích světa	17
9. Měření mlhy v ČR	19
10. Závěr.....	20
11. Literatura	21

1. Úvod

Díky atmosférické depozici přichází do ekosystémů značné množství různých látek. Některé mohou být škodlivé pro životní prostředí. Málo prozkoumaným depozičním procesem je depozice skrze mlhu, jejíž vliv je často podceňován. Druhové zastoupení rozpuštěných látek v mlze a v běžných padajících srážkách je téměř stejné. Rozdíl nastává v hodnotách koncentrací, v mlhách bývají koncentrace vyšší než ve vertikálních srážkách. Přínos znečišťujících látek neboli polutantů prostřednictvím mlhy nabývá většího významu ve vyšších nadmořských výškách zhruba od 800 m n. m., kde je četnost mlh stejná nebo vyšší než četnost atmosférických srážek. Nejběžnějšími ionty přinášenými mlhou jsou NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- . Více mlh se vyskytuje v horkých oblastech, znečištění mlh závisí na typu lokality. V průmyslových oblastech nebo v jejich blízkosti je znatelné větší zastoupení znečišťujících látek a rovněž častější výskyt mlh.



Obr. 1. Mlha na Šumavě - ilustrační foto (Mykiska M.)

2. Co je to mlha

Mlha je atmosférický aerosol, sestávající z velmi malých vodních kapiček (ty mohou být usazené nebo vypařené), popř. drobných ledových krystalků rozptýlených ve vzduchu, který zmenšuje vodorovnou viditelnost při zemi pod 1 km. Má bělavé zbarvení, v průmyslových oblastech mívá špinavě našedlý nebo nažloutlý až nahnědlý nádech (Bednář a kol., 1993; Bednář a Kopáček, 2005).



Obr. 2. Mlha - ilustrační foto (Samcová A.)

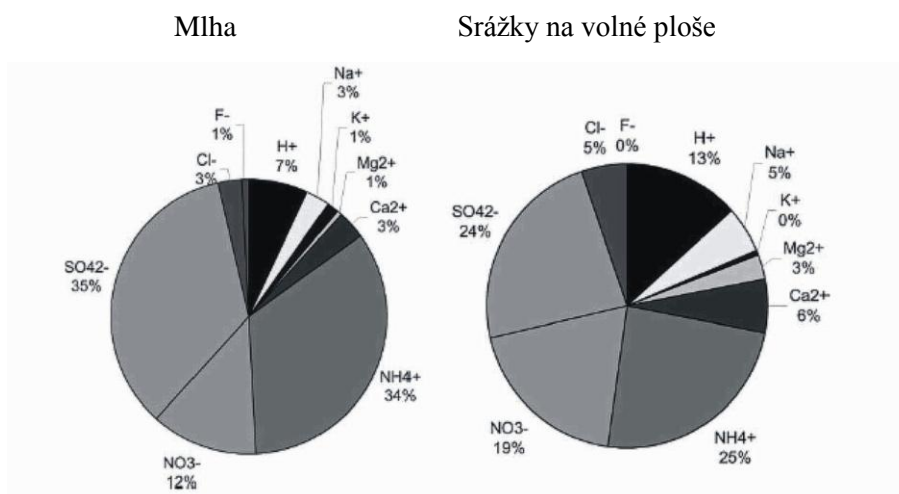
Mlha je vlastně oblak druhu stratus, který je ve fyzickém kontaktu se zemským povrchem. Horská stanice tak pozoruje mlhu, zatímco údolní stanice nízkou oblačnost (druhu stratus). Nahromadění kondenzačních produktů při zemi označujeme jako mlhu, nad zemí ve výšce jako oblak. Mlhy se od oblaků typu stratus liší způsobem vzniku, celkovým obsahem vody a velikostní distribucí částic. Přímý styk mlhy s povrchem Země má za následek větší rozmanitost procesů, kterými mlhy vznikají. Při teplotách vyšších než 0° C se mlha skládá výhradně z vodních kapiček. Při teplotách nepatrně pod bodem mrazu se mlha sestává z přechlazených vodních kapiček a při teplotách okolo -10°C se mohou v mlze společně s vodními kapičkami vyskytovat také ledové krystalky. „Zmrzlá mlha“, tvořená výhradně četnými drobnými ledovými krystaly se vyskytuje při velmi nízkých teplotách (obvykle pod -30°C). Velikost částic mlhy je kolem 10⁻³ mm, vodní kapičky o průměru 0,005 až 0,05 mm, mohou být i přechlazené. Mlhy se mohou rozdělovat podle doby trvání na dlouhodobé - několika hodinové a krátkodobé - méně než 2 hodiny (Bednář a Kopáček 2005; Croft, 2003; Klemm a kol., 2005; Podzimek, 1959; Prošková a Hůnová, 2006).

2.1 Chemické složení

Ačkoli anorganické chemické složky obsažené v mlžné vodě jsou velmi podobné těm v dešťové vodě, liší se výrazně v koncentracích. Protože jsou kapičky mlhy často utvářeny kolem částic polutantů, vznikají blízko zemského povrchu formace různých typů mlh, v nichž jsou koncentrace znečišťujících látek výrazně zvýšené. Ředící efekt související s kondenzačním růstem je v mlze více omezený ve srovnání s deštěm. Také proto, že malé velikosti kapek (5 – 100 μm), mají relativně velké poměry povrchu k objemu a kapičky mlhy se vypařují rychleji než kapky deště (Liang a kol., 2009). Během

posledních dekád prošlo chemické složení mlh (a srážek) v centrální Evropě významnými změnami. Pokles emisí znečišťujících vzduch, hlavně oxidů síry a dusíku, vedl ke snížení znečištění v ovzduší. Ionty H^+ , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , které tvoří 94 % celkového ekvivalentu koncentrace mlhy. Pro mnoho vzorků jsou NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} nejvýznamnějšími složkami. Rozdíly v koncentraci iontů a jiných složek mezi mlhou a srážkami jsou pozorovány na lokalitách v celém světě. Sulfáty pocházejí stále hlavně ze spalování fosilních paliv a s tím souvisí emise SO_4^{2-} . Tyto emise jsou rozšířeny po celé Evropě. Nitráty pochází z největší části ze spalování kapalných fosilních paliv, 50 % emisí NO_x (v Německu) souvisí s dopravou. Protože koncentrace iontů v mlze jsou obecně vyšší než ve vertikálních srážkách, vede to ke stejné nebo vyšší celkové depozici polutantů z mlhy (Klemm a Wrzesinsky, 2007). Mnoho faktorů ovlivňuje chemické složení mlhy a oblačné vody a sice místo původu vzduchových mas, dynamika oblaků a mikrofyzika. V zemích s velkým zastoupením průmyslu je výraznější koncentrace rozpuštěných látek v mlze vyšší než ve srážkách (až 100 x). Speciálně v hraničních oblastech Německa, Čech a Polska byla acidifikace jako výsledek emisí SO_2 z uhelných elektráren výrazným problémem a byla příčinou masivního odumírání lesů. V horských oblastech je chemické složení depozice více ovlivňováno lokálním mikroklimatem, tzn. topografií, nadmořskou výškou, místním prouděním vzduchu, orientací údolí a vystavení hlavním směrům větru. Nejhojnější anorganické ionty obsažené v mlze jsou NH_4 , následně NO_3^- a SO_4^{2-} . Dohromady tyto tři hlavní ionty přispívají mezi 63 % a 78 % (nižší lokalita) k průměrné iontové rovnováze s maximem 94 %. Mimo to Ca^+ , Na^+ a PO_4^{3-} přispívají podstatnou částí k iontové rovnováze. Sodný kationt Na^+ může pocházet z prachu půdy nebo ze spalování biomasy. Příspěvek soli, která nepochází z moře, může být podceňován (Michna, Eugster 2013).

Iontové složení



Obr. 3. Iontové složení mlhy a srážek na volné ploše (Východní Krušné hory) 1997/98. (Zimmermann L., Zimmermann F., 2002)

2.2 Jak mlha vzniká

Mlhy všech druhů vznikají tehdy, jestliže teplota vzduchu poklesne pod teplotu rosného bodu nebo se mu při dostatečném počtu účinných kondenzačních jader přiblíží. K tomu dochází buď ochlazením vzduchu, např. při mlze radiační, advekční a svahové, nebo dodatečným zvýšením vlhkosti vzduchu například u mlh frontálních. Mlha může vznikat při kladných i záporných teplotách vzduchu (Bednář a kol., 1993).

Pro kondenzaci nemusí být relativní vlhkost vzduchu 100 %, ale může být nižší cca 80 - 90 %. Tyto podmínky jsou spojovány s rosným bodem v rozpětí 3 °C a stabilní vrstvou atmosféry. Ačkoli je výskyt mlh blízko nebo pod bodem tání relativně vzácný, není mrznoucí či ledová mlha nemožným jevem. Mlha je formována na jádrech plynů jako NH_3 a SO_2 a na malých částicích jako SO_4^{2-} . Další definice popisují mlhy podle zdrojů a metod vzniku (Croft 2003; Liang a kol. 2009).

K dalším podmínkám pro vznik mlhy ještě patří: dostatečná absolutní vlhkost, nepřilíš vysoká rychlost větru a stabilní zvrstvení atmosféry. V některých případech se mlha vytváří vypařováním teplejší vody do chladnějšího vzduchu, případně adiabatickým ochlazením vlhkého vzduchu následkem velmi prudkého poklesu atmosférického tlaku (Bednář, Kopáček 2005).

Tvorba mlhy vyžaduje rozmanité faktory v různých kombinacích. Podstatná pro tvorbu mlhy je dostatečná vlhkost, procesy ochlazování a výstupného proudění. To nám umožňuje definovat tři hlavní typy mlh: radiační (z ochlazení), advekční (ochlazení a stoupání) a kombinované (Croft 2003).

Způsoby vzniku mlh.

1. Mlha z vypařování:

- a) z teplejších dešťových kapek v chladnějším vzduchu
- b) z teplejší vodní plochy

2. Mlha následkem ochlazení:

- a) výstupného pohybu vzduchu po svahu
- b) proudění vzduchu do míst s nižším tlakem
- c) místního poklesu tlaku vzduchu
- d) tepelným vyzařováním půdy
- e) advekce teplejšího vzduchu nad chladnější půdou

3. Míšení: horizontální míšení

2.3 Kde vzniká mlha – oblasti a význam nadmořské výšky

Mlha se může zformovat na místě výskytu, může být transportována z jedné lokality na jinou a může se vytvořit v časovém horizontu několika minut nebo i déle než hodinu, záleží na stávajících podmínkách. Od povrchu může mlha dosahovat až do výšky 1000 m. Příležitostně může být mlha zvednuta i něco výš nad zemským povrchem. Mlhy často vznikají v okolí vodních ploch jako je oceánský proud či říční údolí, mohou se však nacházet i v oblastech pouští (Croft 2003).

Ukazuje se rozhodující hranicí, kde je úhrn usazených srážek již významný, je nadmořská výška od 800 m n. m. Ve výškách nad 1000 m n. m. může dokonce mlha přispívat k celkovému vstupu atmosférických srážek do lesních půd větší měrou než samotné vertikální srážky (Prošková a Hůnová, 2006).

3. Atmosférická depozice

Atmosférické depozici je dlouhodobě věnována značná pozornost, neboť touto cestou je vnášeno do životního prostředí velké množství znečišťujících látek (Bednář a kol., 1993; Prošková a Hůnová, 2006).

Depozici lze definovat jako přenos či tok látek z atmosféry k zemskému povrchu, vyjádřený jako hmotnost sledované látky na jednotku plochy za určitou časovou jednotku. Zpravidla se používá jednotek $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ nebo $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ (Braniš a Hůnová, 2009).

Přenášené látky mohou být v pevném, plynném i kapalném skupenství. Proudění a turbulence v atmosféře přináší k povrchu plynné molekuly, ale také částice aerosolů a pevných látek, které jsou navíc transportovány i působením gravitace.

Přenos plynů a částic na zemský povrch probíhá jak suchou depozicí, tak i mokrou depozicí, při které jsou látky přinášeny na zemský povrch ve vodě horizontálních a vertikálních srážek. V závislosti na umístění, typu povrchu a lokální meteorologické situaci, mohou všechny tyto tři cesty depozice významně přispívat k přenosu aerosolů a plynných částic z atmosféry na povrch Země.

Procesy depozice mají za následek čištění ovzduší, ale zároveň vedou k významným chemickým vstupům znečišťujících látek do suchozemských a vodních ekosystémů. Množství chemických látek, které depozice poskytuje suchozemským a vodním ekosystémům může mít (lépe řešeno má) zásadní dopady na životní prostředí a funkci ekosystémů. Chemické vstupy související s mokrou depozicí jsou někdy označovány jako kyselá depozice nebo kyselá deště.

Mokrou depozici kromě složky vertikálních (padajících) srážek (tj. sníh, déšť, kroupy) tvoří ještě tzv. usazené srážky, někdy označované jako horizontální depozice (nesprávné označení), takto se označuje mlha, námraza a jinovatka. Vertikální mokrá depozice je relativně jednoduše měřitelná a hodnotitelná, zatímco kvantifikace depozice z usazených srážek (horizontální či okultní depozice) je zdaleka nejtěžší (Hůnová a Kurfürst, 2011; Michna a Eugster, 2013; Prošková a Hůnová, 2009).

Mokrá depozice nastává v situacích s atmosférickými srážkami. A jde o dosud nejvíce poznanou složku atmosférické depozice. I v relativně velmi čistých oblastech mohou být celkové hodnoty mokré depozice značně vysoké, což je dáno vysokými ročními srážkovými úhrny (platí zejména pro horské stanice) (Braniš a Hůnová, 2009).

Horizontální depozice může mít v některých oblastech významný hydrologický vliv na celkovou atmosférickou depozici. Odborné studie udávají jako rozhodující hranici nadmořskou výšku 800 m n. m.. Ve výškách nad 1000 m n. m. může dokonce mlha přispívat k celkovému vstupu srážek do lesních půd větší měrou než samotný déšť. Nedávná studie pro Německo a část Krušných hor udává, že mlha přispívá cca 25 % k celkovému množství srážek v této oblasti (Braniš a Hůnová, 2009).

Suchá depozice probíhá nepřetržitě za každého počasí. Je představována depozicí částic pevných látek a plynů. Jde o mnohem pomalejší (ve smyslu méně intenzivnější) proces než u mokré depozice. Dochází při ní k přímému přestupu látek z ovzduší na vegetaci, zemský povrch či oceány. Podíl suché depozice na celkové atmosférické depozici vzrůstá v tzv. impaktních oblastech (oblasti pod přímým vlivem emisních zdrojů, zejména města a průmyslové aglomerace). Celková atmosférická depozice je zjišťována součtem mokré a suché atmosférické depozice (Braníš a Hůnová, 2009).

4. Typy mlhy

Mlhy můžeme roztřídit do několika skupin podle různých kritérií (zejména podle fyzikálních příčin vzniku a podle místa výskytu). Nejvyužívanějším dělením mlh je dělení podle jejich vzniku (podle tzv. Willettovy genetické klasifikace mlh). W.Georgij rozdělil mlhy do pěti tříd, v nichž se vedle později užívaných skupin (mlhy z vyzarování, mlhy z mísení) uvádějí: kouřmo a zákal jako počáteční stadium mlhy, sedimentující prach jako zdroj kondenzačních jader a mlh, vlnová mlha, jež se vytváří původně ve vyšší hladině v místech výstupných složek rychlostí vlnového proudění jako oblaka typu stratus (St) a postupně se snižuje k zemi.

Rozlišujeme dvě hlavní skupiny mlh. Tou první jsou mlhy uvnitř vzduchových hmot, dále dělené podle toho, jestli vznikly snížením teploty nebo zvýšením relativní vlhkosti. Jedná se o advekční a radiační mlhy, kterým je zde věnováno nejvíce pozornosti (Podzimek, 1959).

4.1 Advekční mlhy

Vznikají ochlazením spodní vrstvy vzduchu od relativně chladnějšího povrchu při advekci. Ochlazení a kondenzace se turbulentním prouděním přenášejí do výšky a za dostatečné vlhkosti vzduchu může vzniknout mlha několik desítek i stovek metrů vysoká zasahující velké území.

4.1.1 Mlhy při advekci teplého vzduchu nad studený povrch

Monzunové mlhy se objevují v pobřežních oblastech během teplých ročních období při přenosu teplého vzduchu z kontinentu nad chladnější oceán. Vzniká původně nad mořem, ale odtud může být přenesena nad pevninu buď denní brízou, do hloubky až ca 40 km od pobřeží, nebo změnou celkového proudění, kdy může tato mlha pokrývat pobřežní oblast až do vzdáleností stovek kilometrů.

Mořská mlha vzniká, jestliže se nad otevřeným mořem pohybuje vzduch z oblasti s teplejším povrchem do oblasti s nižší teplotou vodní hladiny. Vyskytuje se především v oblastech s velkým horizontálním gradientem teploty mořského povrchu, jak tomu je v místech, kde se vzájemně přibližují teplé a studené mořské proudy. Například mlhy u New Foundlandu, vznikají, protože se zde stéká teplý Golfský proud, se studeným Labradorským proudem. Tvoří se během celého roku, nej hustší bývají na jaře a počátkem léta, v tomto období jsou rozdíly teplot studených a teplých proudů největší. I tyto mlhy jsou občas přenášeny větry až nad pevninu (Bednář a Kopáček, 2005).

Mlha tropického vzduchu se tvoří při rychlém postupu teplého tropického vzduchu (nejčastěji mořského původu) do vyšších šířek se stále chladnějším povrchem Země. Nad pevninou se tyto mlhy vyskytují hlavně v chladné roční době, kdy je mezi nízkými a vysokými zeměpisnými šířkami větší teplotní kontrast (Bednář a Kopáček, 2005).

4.1.2 Mlhy při advekci studeného vzduchu nad teplý vodní povrch

Výpar arktických moří. Jedná se o mlhy tvořené v Arktidě v zimním období studeným vzduchem proudícím nad mořem, který proudí podél krajů ledu a mezerami v ledu. Mají malý rozsah a krátkodobé trvání nad vodou, která je relativně teplá. Vzniká tím konvekce, která brzy mlhu rozptýlí.



Obr. 4. Mlha vzniklá z výparu arktických moří (Mykiska M.)

Podzimní ranní výpary se objevují nad řekami, jezery a bažinami hlavně tam, kde nad teplejší hladinu stéká po svazích těžší vzduch silně ochlazený vyzařováním (Bednář a Kopáček, 2005). Nejčastěji se vyskytují na podzim. Na jaře má voda nízkou teplotu a v létě jsou krátké noci a vzduch se nestihne dostatečně ochladit. Tato mlha se netvoří v souvislé vrstvě, ale spíše v roztroušených shlucích.

4.2 Radiační mlha neboli mlha z vyzařování

Vznik tohoto typu mlh je založen na ochlazení spodní vzduchové vrstvy od vyzařováním ochlazeného povrchu Země až pod hodnotu rosného bodu neboli tzv. radiačním ochlazením vzduchu. Jedná se o pevninský jev neboť právě půda se za noci a v zimě při jasné obloze i ve dne vyzařováním silně ochlazuje. Mlhy z vyzařování se tvoří převážně v noci a za jasného počasí a na rozdíl od advekčních mlh při klidu nebo jen slabém větru. Radiační mlhy se typicky vyskytují ve stabilních vzduchových hmotách při teplotní inverzi. V zimním období se tato mlha může udržet po celý den. Radiační mlha vzniká z turbulentního převodu kinetické energie, tepla a vodní páry spojené s radiačním ochlazením povrchu a mikrofyzikálními procesy v mezní vrstvě. Takové mlhy snadno vznikají v počasí příznivém pro teplotní inverzi a jejich existence je okamžitě vázaná na změny výparu a teploty mezi povrchem a atmosférou. Mnoho studií ukazuje, že vývoj radiačních mlh závisí na rovnováze mezi radiačním ochlazením a turbulencí. Tyto mlhy jsou typické více pro plochý terén a údolí. U radiačních mlh pocházejí polutanty obsažené ve vzorcích vody převážně ze zdrojů v blízkosti místa odběru (Bednář a kol., 1993; Bednář a Kopáček 2005; Duanyang, 2011; Fišák 2004; Klemm a kol., 2005).

Přízemní mlha se vyskytuje zejména na podzim. Tvoří se v noci nebo k ránu při jasné obloze, kdy se půda vyzařováním intenzivně ochlazuje. Slabou turbulencí a vedením tepla se pak ochladí i přízemní

vrstva vzduchu až dojde ke kondenzaci. Vytváří se při zemském povrchu a zasahuje nejvýše do 2 m nad zemí.

Vysoká mlha, někdy označovaná jako inverzní, rozprostírá se na velkých plochách do výšky řádově několika set metrů. Často začíná jako oblačná vrstva nebo oblak druhu stratus pod horní hranicí subsidenční inverze teploty vzduchu (Bednář a kol., 1993).

4.3 Radiačně advekční mlhy, kombinace

Mlha, při jejímž vzniku a trvání působí současně příčiny mlhy advekční a mlhy radiační. Někdy označovaná jako maritimní či přímořská. Vzniká proniknutím mořského vzduchu mírných šířek nebo mořského arktického vzduchu ve studené části roku z relativně teplého moře nad chladnou souš, a nad ní silným ochlazením od půdy a také intenzivním vlastním vyzařováním ve vzduchu v důsledku velkého obsahu vlhkosti. (Bednář a Kopáček, 2005)

4.4 Mlhy frontální

Další skupinou mlh tříděných podle vzniku jsou mlhy frontální. Mají také několik typů.

Vyskytují se podél frontálních ploch v kteroukoli denní či roční dobu.

Mlhy před frontou: před teplou (TF), před studenou (SF), před okluzí (O);

Mlhy na frontě: teplé, studené, okluzní;

Mlhy za frontou: za TF (Bednář a Kopáček, 2005; Podzimek, 1959).

4.5 Další dělení mlh

Dále můžeme mlhy dělit na čtyři stupně intenzity podle maximální viditelnosti.

A to na:

mlhu slabou (viditelnost 500 až 1000 m),

mlhu mírnou (200 až 500 m),

mlhu silnou (50 až 200 m)

mlhu velmi silnou (viditelnost menší než 50 m)

(Bednář a kol., 1993)

Názvosloví mlh je také závislé na pozici, projevech a rozsahu mlh, například: mlha adiabatická, advekčně – radiační, advekční, frontální, jezerní, městská, monzunová, mořská, mrznoucí, orografická (svahová), pobřežní, předfrontální, přechlazená, přízemní, radiační, s mrholením, „suchá“, údolní, uvnitř vzduchové hmoty, v chuchvalcích, v tropickém vzduchu, vysoká (inverzní), zafrontální, zmrzlá (ledová), z promíchávání a z vypařování (Bednář a kol., 1993).

5. Mechanismy vzniku

Podstatná pro vznik mlhy je hlavně vlhkost a procesy ochlazování a výstup vzdušných mas (zahrnuje i turbulenci). Tento mechanismus dává vznik třem hlavním typům mlh, radiační (z ochlazení), advekční (ochlazování a stoupání) a kombinace obou (ochlazení, stoupání nebo mísení). Nejdůležitějším faktorem v atmosféře je přítomnost dostatečné vlhkosti a její horizontální rozdělení. I mlha, která je spojena se silnými větry, jako je tomu v případě čistě advekčních mlh, vzniká v relativně stabilních oblastech mezní vrstvy atmosféry. Dalšími relevantními faktory pro vznik mlhy, které však jsou považovány za sekundární v přírodě, je mikrofyzika oblaků, vertikální a horizontální distribuce vlhkosti a teploty, orografické efekty, zdroje a propady vlhkosti i tepla, tvar a drsnost povrchu, využití krajiny a skladba porostů v krajině (Croft, 2003).

Mechanismy uplatňující se při vzniku mlh jsou:

Ochlazení vzduchu v atmosféře, jež má za následek zvýšení relativní vlhkosti je nejdůležitějším pochodem pro vznik oblaků a srážek. Vzduch se ochlazuje přímým stykem s chladnější zemí, mořem nebo vzdušnou hmotou. Jakákoli vzdušná částice se ochlazuje rozpínáním, jakmile se zmenší vnější tlak vzduchu. Vzduch může být ochlazován dvojím způsobem. Buď přichází advekci teplejší vzduch nad studený povrch země, nebo se ochlazuje v klidu a při nepatrném pohybu nad půdou vyzařující za jasných nocí teplo.

Výstup, při kterém se vzduch rozpíná, ochlazuje, relativní vlhkost stoupá, až po překročení stavu nasycení vodní pára kondenzuje na kondenzačních jádrech. Jsou-li oblačné elementy malé a nenarostou-li až do rozměrů dešťových kapek, které vypadávají z oblaku, jde přibližně o pochody vratné. Orografie působí především nucený výstup vzdušné hmoty, její rozpínání a ochlazování. Na návětrné straně pohoří se vytváří mohutný oblačný systém. Pokud má proudění tepla převládající složku horizontální, pak se mluví o advekci, pokud se více uplatní složka vertikální, dochází ke konvekci (Podzimek, 1959).

6. Znečištění mlh

Na evropském kontinentu je nejvíce znečištěnou oblastí centrální část Evropy, kde dochází k emisím v důsledku spalování uhlí v tepelných elektrárnách. Těmto oblastem je věnována největší pozornost při výzkumu chemismu mlh a srážek (Klemm a Wrzesinsky, 2007).

Jednou z nejvíce znečištěných oblastí v Evropě je oblast tzv. černý trojúhelník (hraniční oblasti Čech, Německa a Polska) v oblasti Krušných hor. Lokální klima je charakterizováno nadprůměrně stabilním rozvrstvením vzduchu, které vede k nadprůměrným množstvím inverzí s advekčními mlhami. Zde se vyskytující tzv. „Acidifikovaná mlha“ má pravděpodobně významnou roli při kyselé depozici a odumírání lesů na obou stranách hřebenu Krušných hor.

Četnost mlh výrazně narůstá s nadmořskou výškou. Vyšší četnost mlh ve vyšších nadmořských výškách je obvykle důsledkem orografického ochlazení (Schüttauf a kol., 2010).

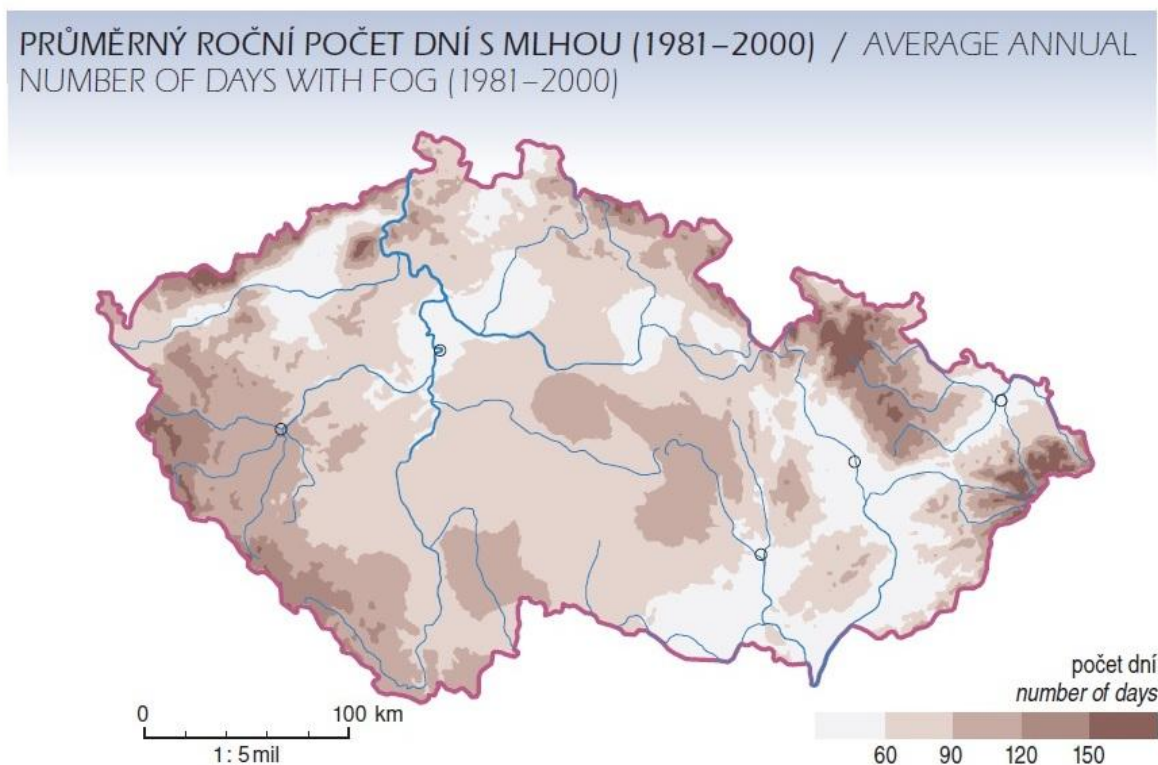
Znečištění v této oblasti je důsledkem těžby uhlí a jeho spalování v tepelných elektrárnách v Lipské pánvi (Německo) jakož i spalováním uhlí v podobných odvětvích petrochemického a těžkého průmyslu v podkrušnohorské pánvi na české straně Krušných hor (Klemm a kol., 2005).



Obr. 4. Znečištěná mlha v Krušných horách (Mykiska M.)

7. Frekvence výskytu mlhy

Počet dnů s mlhou (příp. hodin) je nejpoužívanější klimatologická charakteristika mlhy. Za den s mlhou se považuje den s výskytem mlhy nebo mlhové přeháňky, přičemž údolní mlhy jsou analyzovány zvlášť. Dny s mlhou v České republice jsou výrazně koncentrovány na měsíce zimního půlroku s maximem v prosinci. Nejnížší počty dnů s mlhou připadají na období od května do srpna s minimem v červenci (Brázdil a kol., 1999).

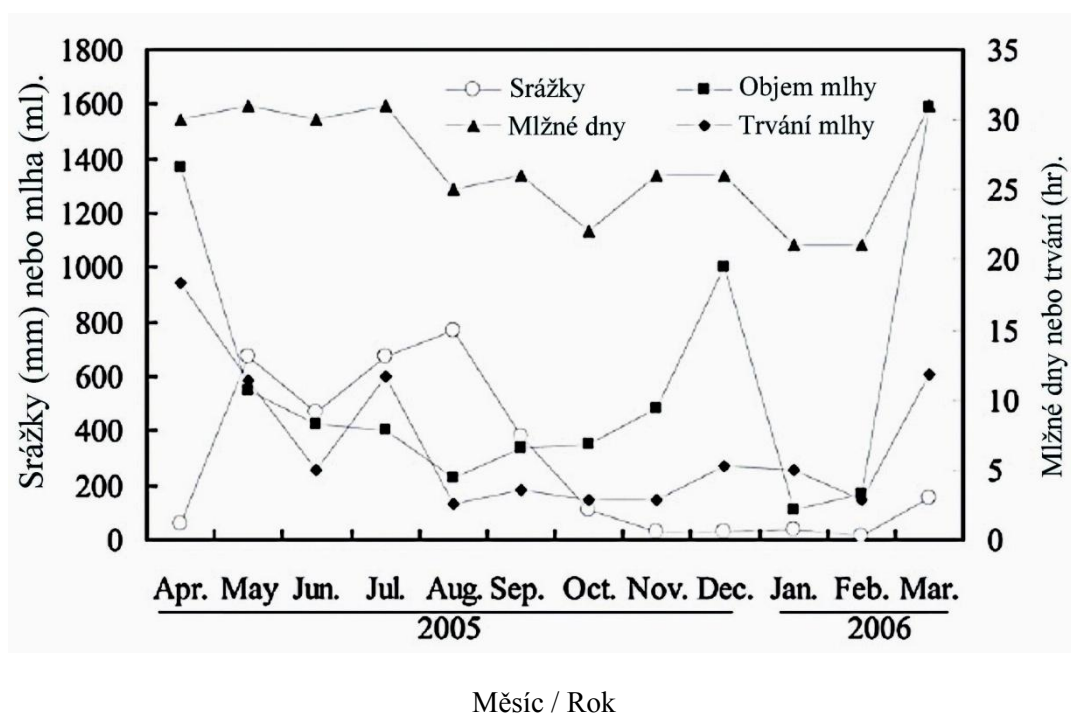


Obr. 5. Průměrný roční počet dní s mlhou na území ČR (Míková a kol., 2007)

Roční počet dní s mlhou a roční chod mlhy se značně liší v závislosti na typu klimatu a současných místních podmínkách. Nejčastěji mlhy vznikají tam, kde je hodně vodní páry jako v oceánských, jezerních, říčních, pobřežních a jiných vlhkých oblastech. A zároveň zde probíhají ochlazovací procesy, na nichž se podílí zejména radiace turbulentní proudění, vertikální přesuny vzdušných hmot.

V rovníkové a subrovníkové zóně díky dostatku vlhkosti a nočnímu radiačnímu ochlazení, dochází ke vzniku mlh docela často ve vnitrozemí (Iquitos/Peru, NDF = 102; pro pojmenování se používá tzv. hodnota NDF = nuber day of fog). V tropickém prostředí je mlha formována pravidelně, protože, je zde trvale vysoká vlhkost a pravidelný srážkový cyklus (Quito/Equador, NDF =208). Zajímavostí mlhy je vzácný fenomén mlhy v ostrovních oblastech tropických oceánů, kde ke vzniku mlhy dochází velmi zřídka (Kaneohe Bay/Hawaii/USA, NDF = 11). V oblastech mořského pobřeží tropických a subtropických šířek mají mlhy tendenci vznikat v regionech ovlivněných studenými oceánskými proudy (jako v Chile a Namibii). V takových podmínkách obvykle dominuje advekční mlha, kterou místy doplňují svahové mlhy.

Regiony mírných zeměpisných šířek jsou notoricky známé vysokou četností mlh, zejména v oblastech, kde se setkávají studené a teplé oceánické proudy, například St. John's/New Foundland, Canada. Mlha se také často vyskytuje v polárních oblastech, zejména pobřežních oblastech. Advekční mlha má v těchto lokalitách nejvyšší četnost v létě. Na místech, kde je počasí ovlivněno suchými sestupnými větry z ledovců, se mlhy vyskytují vzácně (Sobik a Blas, 2013).

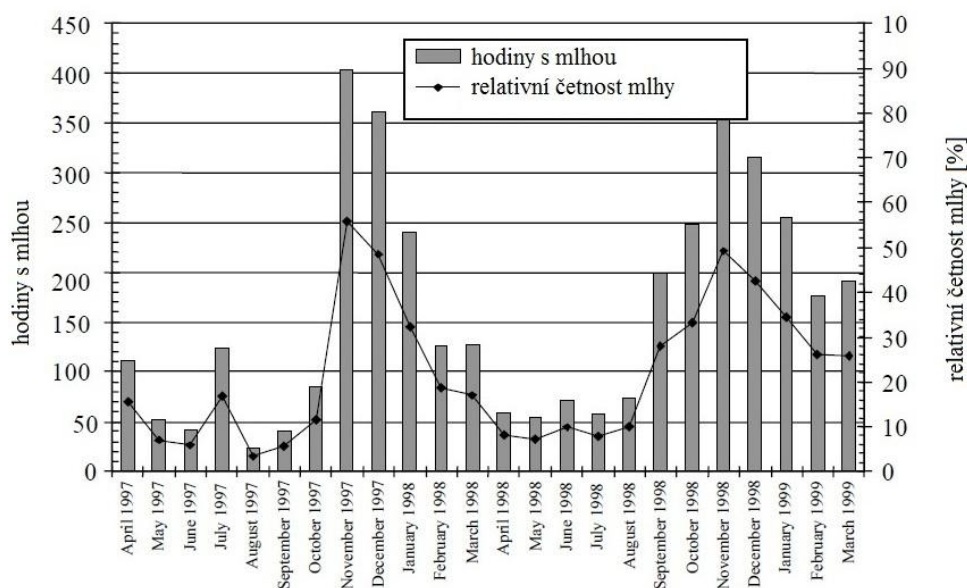


Obr. 6. Měsíční četnost mlhy (den), průměrné denní trvání hodin s mlhou, srážky (mm), a objem mlhy (ml) v centrální části Taiwanu. (Liang a kol., 2009)

Na některých místech na Zemi se mlhy vyskytují pouze v určitém ročním období. Např. mlhy nad Labradorským proudem s maximem v létě, letní mlhy na kalifornském pobřeží, na západoafrickém pobřeží Casablanky, na východním pobřeží Jižní Ameriky na jih od Ria de la Plata (Podzimek, 1959).

V centrální Evropě se mlha od roku 1997 vyskytovala v průměru kolem 200 dní za rok, nejméně mlhy bylo v roce 1999 (164 dní) a nejvíce v roce 2001 (233 dní). Nejvyšší výskyt mlh (pro centrální Evropu) je v měsíci listopadu a jako měsíc s nejméně častou mlhou vychází srpen (Klemm a Wrzesinsky, 2007).

Ačkoli četnost mlhy je často porovnávána na základě počtu zaznamenaných mlžných dnů, pro zlepšení přesnosti, je třeba zaznamenávat počet mlžných hodin. Doba se obvykle vypočítá na základě vizuálních pozorování nebo měření viditelnosti podle videografu. Vypočtené množství mlžných hodin ukazuje vysoké sezónní výkyvy, od nejnižších hodnot v srpnu 1997 po nejvyšší v listopadu 1997 (relativní mlhová frekvence 50 - 60 %), následuje v prosinci 1997 s téměř 50 % pro Krušné hory.



Obr. 7. Relativní četnost mlhy a hodiny s mlhou od dubna 1997 do března 1999 na Cínovci (Christian a kol., 2003)

Maximum výskytu mlh v České republice vychází na prosinec a leden a minimum výskytu mlh je v červnu a v červenci (Brázdil a kol., 1999).

Denní chod mlhy je nejvyšší v ranních hodinách mezi 7. a 8. hodinou, v květnu a červnu mezi 6. a 7. hodinou, srpnu mezi 6. až 9. hodinou. Nejméně častý je výskyt mlhy v odpoledních hodinách mezi 14. až 18. hodinou (v měsících březnu, dubnu, červenci, září a říjnu nastává minimum mezi 15. a 16. hodinou). Maxima relativních četností v létě i v zimě nastávají obecně 1- 2 hodiny po východu Slunce.

Minima denního chodu v zimě 1 – 2 hodiny po kulminaci Slunce, v době kdy se začíná přízemní vrstva vzduchu výrazně stabilizovat, v létě asi 2 hodiny před západem Slunce (Brázdil a kol., 1999).

Na jaře nebo v létě se mlha vyskytuje téměř výhradně ve 2. polovině noci a krátce po východu Slunce. Na podzim a v zimním období je zřetelný denní chod mlhy s ranním maximem. Mlha však často trvá i po celý den. Teplotní minimum v denním chodu totiž nastává převážně před východem Slunce. Vyšší frekvence mlh v Krušných horách souvisí se vznikem mlh nad studeným vzduchem severočeské pánve. Tato mlha často přechází hřebeny Krušných hor a proudí do údolí odvodněných na sever. Zdá se, že vysoká roční frekvence mlh souvisí se západním až severozápadním a jižním prouděním (Lange a kol., 2003).

8. Příklady pozorování mlh v různých zemích světa

Vzhledem k obtížnosti vzorkování mlhy, je studium mlžné depozice relativně řídké a prováděné až během posledních dvou dekad. Existující studie ukazují, že mlžná voda je často více znečištěná a může mít hlavní dopad na růst a zdraví jednotlivých rostlin či fungování celých ekosystémů.

Mlha mívá vyšší koncentrace znečišťujících látek než srážky. Je zde uvedeno několik příkladů (rozdílných) koncentrací z různých lokalit světa. V Japonsku (Oyama) byla celková koncentrace iontů v mlze 3 až 50x vyšší než ve srážkách. V Kalifornii byla celková koncentrace iontů v mlze více než 100x vyšší než ve srážkách. V Německu (Waldstein; Fichtelgebirge) byla koncentrace SO_4^{2-} a NO_3^- v mlze 18x a 24x vyšší než ve srážkách a odpovídající NH_4^+ a Ca^{2+} byly 25x a 7x vyšší než ve srážkách. V lesních ekosystémech ve Švýcarsku byla koncentrace živin v mlze 3 až 66x vyšší než koncentrace ve srážkách (Liang a kol., 2009).

Porovnání chemismu mlhy v různých místech na Zemi

Indie

Následující údaje ukazují chemické složení mlhy v nejvíce znečištěné oblasti centrální Indie. Mlha je nažloutlá a má neutrální pH. Hodnoty objemové koncentrace prvků F 1,7 – 2,4; Cl 14,2 – 33,1; NO_3^- 11,4 – 23,8; SO_4^{2-} 21,7 – 116; NH_4^+ 2,8 – 8,2; Na 4,6 – 33,7; K 4,8 – 22,4; Mg 2,6 – 6,7; Ca 8,5 – 18,5; Al 0,570 – 1,030; Mn 1,100 – 1,640; Fe 0,510 – 1,290; Cu 0,080 – 0,117; Zn 0,058 – 0,112, Pb a Hg se pohybují mezi 0,004 – 0,013 mg.l^{-1} . Znečištění v centrální Asii se výrazně zvýšilo v důsledku rostoucí populace, industrializace a urbanizace. Hlavní faktor přispívající k znečištění mlhy je chemické složení aerosolů a radiační působení částic vázaných na aerosoly. Zvláště v horských lesních ekosystémech je mlžná voda důležitým zdrojem iontové depozice (Patel a kol., 2010).

Chorvatsko

Roční a sezónní frekvence mlhy je na stanici Gric v Zagrebu sledována od roku 1961. V posledních dekádách zde byl pozorován pokles četnosti mlh. Důvodem může být vyšší čistota vzduchu v městském prostoru Zagrebu zaznamenaná v posledním období. Možný je i vliv globálního oteplování nebo snížení dopravy. Srovnání změn četnosti mlhy bylo provedeno mezi časovými řadami pro nížiny, hory a pobřežní regiony. Typické synoptické situace jsou spojeny s většinou mlh v Chorvatsku. (Pandzic a Likso, 2013)

Japonsko

Následující hodnoty pocházejí z výzkumu na lokalitě jezera Mashu v roce 2012. Nejhojnějším kationtem v mlze v lokalitě byl NH_4^+ . Celková koncentrace dusíku v mlze byla 5,4x vyšší než v dešťové vodě. Ačkoli byly pozorovány některé vysoce acidifikované mlhy, průměrné hodnoty pH z celkové periody nebyly nijak neobvyklé. Za příčinu acidifikace jsou zde považovány antropogenní a také vulkanické vlivy (Yamaguchi a kol., 2013).

Norsko

V pobřežních regionech Norska jsou významné příspěvky iontů pocházejících z mořských solí. Hlavní ionty v mlžné vodě mají ve srovnání s dešťovou vodou 10x vyšší koncentrace. Bylo zjištěno, že vzorky mlžné vody mohou být využity k monitorování lokální kvality vzduchu (Wang, 2013).

Další země, ve kterých byla věnována pozornost mlžné atmosférické depozici: Španělsko, Polsko, Německo, Amerika, Nizozemsko, Švýcarsko, Taiwan aj.



Obr. 8. Mlha v horské oblasti Balkánu (Mykiska M.)

10. Závěr

Práce zhodnocuje, srovnává a popisuje vlastnosti, výskyt a chemismus mlh, ale také vliv mlhy na atmosférickou depozici. Jsou zde popsány různé mechanismy vzniku v závislosti na lokalizaci a povětrnostních podmínkách. Také uvádím pro srovnání několik příkladů měření frekvence a chemismu na různých místech Země. Obecně je výzkum mlhy nedostatečný a lze předpokládat, že jeho rozšíření nám přinese značná překvapení. Zdá se, že vyčerpávající poznatky o mlze jsou ještě zamlžené.



Obr. 10. Ranní mlha nad vodní plochou Vltavy (Samcová A.)

11. Literatura

1. Bednář J., Černava S., Flux J., Frühbauer J., Gottwald A., Hodan L., Jurkovič P., Kakos V., Kalvová J., Koldovský M., Kopáček J., Krejčí J., Krška K., Munzar J., Nedelka M., Otruba A., Panenka I., Papež A., Pícha J., Podhorský P., Popolanský F., Pretel J., Pribiš J., Rein F., Setvák M., Schoberová E., Slabá N., Sládek I., Sobišek B., Strachota J., Štekl J., Táborský Z., Trefná E., Trhlík M., Vesecký A., Zeman M., Zikmunda O., Meteorologický slovník výkladový a terminologický. 1993. Academia a MŽP ČR, Praha, 594 s.
2. Bednář J., Kopáček J., 2005. Jak vzniká počasí. Karolinum, Praha, 226 s.
3. Blas M., Polowska Z., Sobik M., Klimaszewska K., Nowinski K., Namiesnik J., 2010. Fog water chemical composition in different geographic regions of Poland. *Atmospheric Research*, 95, 455-469.
4. Braniš M., Hůnová I., 2009. Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší. Karolinum, Praha, 351 s.
5. Brázdil R., Štekl J., et al. 1999. Klimatické poměry Milešovky. Academia, Praha, 433 s.
6. Bridges K.S., Jickells T.D., Davies T.D., Zeman Z., Hunová I., 2002. Aerosol, precipitation and cloud water chemistry observations on the Czech Krusne Hory plateau adjacent to a heavily industrialised valley. *Atmospheric Environment*, 36, 353–360.
7. Cermak J., 2013. Fog in the Namib Region: Satellite-Based Detection, and Distribution. In: *Proceedings of 6th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, Yokohama (Japan), May 19-24, 2013, str. 101.
8. Croft P.J., 2002. Fog. In: Holton J. R. (ed.) *Encyklopedia of atmosphere science*, Academic Press, London.
9. Cuxart J., Jimenez M. A., 2012. Deep radiatin fog in a Wide Closed Valley: Study by Numerical Modeling and Remote Sensing. *Pure and Applied Geophysic*, 169, 911-926.
10. Duanyang L., Jun Y., Shengjie N., Zihua L., 2011. On the Evolution and Structure of a Radiation Fog Event in Nanjing. *Atmospheric Sciences*, 28, 223-237.
11. Fišák J., Tesař M., Řezačová D., Eliáš V., Weignerová V., Fottová D., 2002. Pollutant concentrations in fog and low cloud water at selected sites of the Czech Republic. *Atmospheric Research*, 64, 75–87.
12. Fišák J., 2004. Výzkum usazených srážek v ústavu fyziky atmosféry akademie věd české republiky. *Meteorologické zprávy*, 57, 78 – 85.
13. Fišák J., Tesař M., Fottová D., 2009. Pollutant Concentrations in the Rime and Fog Water at the Milesovka Observatory. *Water, Air, & Soil Pollution*, 196, 273–285.
14. Heo K.-Y., Ha K.-J., Mahrt L., Shim J.-S., 2010. Comparison of advection and steam fogs: From direct observation over the sea. *Atmospheric Research*, 98, 426-437.
15. Herckes P., Hutchings J. W., Marcotte A., Wang Y., Moore K. F., Hoag K., Collett J. L., Jr., 2013. Fog Composition in the Central Valley of California Changes over the last 20-30 years?. In:

- Proceedings of 6th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, Yokohama (Japan), May 19-24, 2013, str. 108.
16. Hůnová I., Kurfürst P., Maznová J., Čoňková M., 2011. The contribution of occult precipitation to sulphur deposition in the Czech Republic. *Erdkunde*, 65(3),247-259.
 17. Kajino M., Katata, Hiraki T., Aikawa M., Kobayashi T., Ueda H., 2013. Modeling fog chemistry and its deposition on a mountain forest in summer in Japan. In: *Proceedings of 6th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, Yokohama (Japan), May 19-24, 2013, str. 116.
 18. Katata G., Nagai H., Kajino M., Ueda H., Hozumi Y., 2010. Numerical study of fog deposition on vegetation for atmosphere–land interactions in semi-arid and arid regions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 340-353.
 19. Klemm O., Wrzesinsky T., Scheer C., 2005. Fog water flux at a canopy top: Direct measurement versus one-dimensional model. *Atmospheric Environment*, 39, 5375–5386.
 20. Klemm, O., Wrzesinsky, T., 2007. Fog deposition fluxes of water and ions to a mountainous site in Central Europe. *Tellus*, 59, 705–714.
 21. Lange C.A., Matschullat J., Zimmermann F., Sterzik G., Wienhaus O., 2003. Fog frequency and chemical composition of fog water - a relevant contribution to atmospheric deposition in the eastern Erzgebirge, Germany. *Atmospheric Environment*, 37, 3731–3739.
 22. Liang Y.-L., Lin T.-Ch., Hwang J.-L., Lin N.-H., Wang Ch.-P., 2009. Fog and Precipitation Chemistry at a Mid-land Forest in Central Taiwan. *Journal of Environmental Quality*, 38, 627-636.
 23. Michna P., Eugster W., Wanner H., 2010. Fog Chemistry at Different Altitudes in Swiss Alps. In: *Proceedings of 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, Münster (Germany), July 25-30, 2010, str. 232.
 24. Michna P., Eugster W., 2013. Does fog chemistry in Switzerland change with altitude? In: *Proceedings of 6th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, Yokohama (Japan), May 19-24, 2013, str. 119.
 25. Míková T., Valeriánová A., Voženílek V., 2007, Atlas podnebí Česka., ČHMÚ a ÚP Olomouc, Praha, 255 s.
 26. Miller E. K., Panek J. A., Friedland A. J., Kadlec J., Mohnen V. A., 1993. Atmospheric deposition to a high-elevation forest at Whiteface Mountain, New York, USA. *Tellus*, 45, 209-227.
 27. Nomoto S., 2013. Recent changes in the number of foggy days and local climates in Northern Thailand and Japan. In: *Proceedings of 6th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, Yokohama (Japan), May 19-24, 2013, str. 22.
 28. Pandzic K., Likso T., 2013. Long-Term Variation of Fog Frequency in Croatia. In: *Proceedings of 6th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, Yokohama (Japan), May 19-24, 2013, str. 40.

29. Patel K. S., Ambadey B., Blazhev B., 2010. Fog chemistry in centrally India. In: *Proceedings of 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Münster* (Germany), July 25-30, 2010, str. 109.
30. Podzimek J., 1959. Fyzika oblaků a srážek. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 476 s.
31. Porson A., Price J., Lock A., Clark P., 2011. Radiation Fog. Part II: Large-Eddy Simulations in Very Stable Conditions. *Boudnary – Layer Meteorology*, 139, 193-224.
32. Prošková J., Hůnová I., 2006. Přístupy k hodnocení atmosférické depozice usazených srážek. *Meteorologické zprávy*, 59(5): 151–157.
33. Shimadera H., Kondo A., Shrestha K. L., Kaga A., Inoue Y., 2011. Annual sulfur deposition through fog, wet and dry deposition in the Kinki Region of Japan. *Atmospheric Environment*, 45, 6299-6308.
34. Schüttauf S., Zimmermann F., Matschullat J., 2010. Chemical composition of fog and cloud water at the Erzgebirge summit, Germany. In: *Proceedings of 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Münster* (Germany), July 25-30, 2010, str. 129.
35. Sobik M., Blas M., 2013. Frequency of fog – a global outlook. In: *Proceedings of 6th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Yokohama* (Japan), May 19-24, 2013, str. 103.
36. Sträter E., Klemm O., Westbeld A., 2010. Pollution Levels in Fog at the Chilean Coast. In: *Proceedings of 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Münster* (Germany), July 25-30, 2010, str. 218.
37. Šrédlová K., 2013. *Přístupy ke kvantifikaci horizontální depozice síry a dusíku z mlhy a námrazy*. Bakalářská práce, Ústav pro životní prostředí PŘF UK, Praha, 32 s.
38. Tesař M., Fišák J., Šír M., Bartůňková K., 2013. Occult precipitation-evaluation of long-term monitoring observation in the Czech Republic. In: *Proceedings of 6th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Yokohama* (Japan), May 19-24, 2013, str. 78.
39. Vermeulen A.T., Wyers G.P., Romer F.G., van Leeuwen N. F. M., Draaijers G. P. J., Erisman, J.W., 1997. Fog deposition on a coniferous forest in the Netherlands. *Atmospheric Environment*, 31, 375–386.
40. Wang Y., Zhang J., Herckes P., Karl M., Dye C., 2013. Fog composition at three sites in Norway. In: *Proceedings of 6th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Yokohama* (Japan), May 19-24, 2013, str. 70.
41. Westbeld A., Klemm O., Griebbaum F., Sträter E., Larrain H., Osses P., Cereceda P., 2009. Fog deposition to a *Tillandsia* carpet in the Atacama Desert. *Annales Geophysicae*, 27, 3571-3576.
42. Westbeld A., Klemm O., Griebbaum F., Sträter E., Larrain H., Osses P., Cereceda P., 2010. Fog deposition to the Atacama desert. In: *Proceedings of 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Münster* (Germany), July 25-30, 2010, str. 145.

43. Yamaguchi T., Watanabe Y., Katata G., Shimizu H., Noguchi I., 2013. Fog Chemistry and Droplet Size Distribution at Lake MASHU, Northern Japan. In: *Proceedings of 6th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, Yokohama (Japan), May 19-24, 2013, str. 106.
44. Zimmermann L., Zimmermann F., 2002. Fog deposition to Norway Spruce stands at high-elevation sites in the Eastern Erzgebirge (Germany). *Journal of Hydrology*, 256, 166–175.