

**Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Ústav pro životní prostředí**

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí
Studijní obor: Ochrana životního prostředí



Jana Esterlová

Výskyt a složení mlhy České republice

Frequency and composition of fog in the Czech Republic

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. RNDr. Iva Hůnová, CSc.

Praha, 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně pod vedením doc. RNDr. Ivy Hůnové, CSc. s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použité literatury. Dále prohlašuji, že předložená tištěná verze bakalářské práce je totožná s elektronickou verzí vloženou do SIS.

V Praze dne 15. 8. 2016

.....

Jana Esterlová

Tímto bych ráda poděkovala své školitelce, doc. RNDr. Ivě Hůnové, CSc., za odborné vedení, mnoho rad a trpělivost při zpracovávání bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a učitelskému sboru Církevního gymnázia Plzeň, že mi dali možnost a chuť tento obor studovat.

Abstrakt

Tato práce pojednává o výskytu mlhy na území České republiky a o jejím složení. Zabývá se současným stavem i historickým vývojem (přibližně od druhé poloviny 20. století). Práce je rozdělena na dvě části. První částí je rešerše odborné literatury, která shrnuje výsledky již proběhlých studií, vysvětluje pojmy spojené s mlhou a přibližuje metody užívané pro kvantifikaci mlhy. Druhá část obsahuje výsledky vlastní studie pro městskou stanici Praha-Libuš (1971-2015) a horskou stanici Churáňov (Šumava, 1961-2015). Mlha je často podceňovaným fenoménem, který má prokazatelný vliv na vodní bilanci a přispívá k atmosférické depozici, a to zejména v horských oblastech, kde je četnost jejího výskytu vyšší. Složení mlhy se za sledované období proměňuje. Nejhojnějšími ionty jsou ve většině případů NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} , Cl^- a Ca^{2+} . V souvislosti se snižováním celkového znečištění ovzduší dochází i ke snižování koncentrací polutantů v mlze. Nižší obsah těchto částic možná souvisí i s nižším výskytem mlhy v městských a jiných dříve hojně znečištěných oblastech kvůli menšímu množství kondenzačních jader, který je patrný v Praze-Libuši. V souvislosti s globálním oteplováním se spekuluje o snížení četnosti mlhy i v čistých oblastech, které se však v mnou studované lokalitě Churáňova neprojevovalo v ročních ani měsíčních úhrnech. Výrazná je spíše meziroční různorodost v četnosti výskytu mlhy, která úzce souvisí s okamžitým stavem počasí. Roční chod je na obou stanicích obdobný. Mlha je dle literatury i mé studie hojnější na podzim a v zimě, nejmlžnějším měsícem je na většině českých stanovišť říjen. Roční sumy dní s mlhou se pohybují od desítek až po bezmála tři sta. Výskyt a složení mlhy v České republice zatím není příliš prostudovaným tématem, které by si zasloužilo větší pozornost.

Klíčová slova: mlha, výskyt, chemické složení, trendy

Abstract

This thesis deals with the occurrence of fog in The Czech Republic and its composition. It engages in current status and also historical evolution (since about the second half of 20th century). The thesis is divided into two parts. The first part is the research of the professional literature, which sums up the results of realized studies, explains terms connected with fog and describes methods used for fog quantification. The second part contains results of my own study for the city station Prague-Libuš (1971-2015) and mountain station Churáňov (Šumava, 1961-2015). The fog is an often underestimated phenomenon, which has provable influence on water balance and contributes to the atmospheric deposition, especially in mountain ranges, where the occurrence is higher. The composition of fog is being changed during the observed time. The amplest ions are in most cases NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} , Cl^- a Ca^{2+} . In connection with decreasing general air pollution shows, it goes also to reduction the concentrations of pollutants in the fog. Because of the lower content of these particles the occurrence of fog might be also lower in the cities and former highly-polluted regions caused by the lower number of condensation nuclei, which is noticeable on Prague-Libuš. In connection with global warming there are some speculations about the decrease of fog in clean regions, too, which is not significant for year or months values on my studied locality Churáňov. The year-on-year heterogeneity is better-marked in frequency of fog occurrence. The annual process stays similar. The occurrence of fog is by the literature and also my study higher in autumn and winter, the month with the highest fog frequency at most places in The Czech Republic is October. In the territory of The Czech Republic the sums reaches tents to almost three hundred foggy days per year. The occurrence and the composition of fog in The Czech Republic is not much examined theme, which would deserve larger attention.

Keywords: fog, occurrence, chemical composition, trends

Seznam použitých zkratk:

LWC – *liquid water content* - obsah kapalné vody

MTO – městský tepelný ostrov

NO_x – společný výraz pro oxidy dusíku

PSA – *particle surface area* – celkový povrch vodních kapiček

PM₁ – frakce aerosolových částic suspendovaných v ovzduší, jejichž aerodynamický průměr je menší než 1 μm (ČMeS-eMS)

PM_{2,5} – frakce aerosolových částic suspendovaných v ovzduší, jejichž aerodynamický průměr je menší než 2,5 μm (ČMeS-eMS)

PM₁₀ – frakce aerosolových částic suspendovaných v ovzduší, jejichž aerodynamický průměr je menší než 10 μm (ČMeS-eMS)

Re – efektivní poloměr vodních kapiček

TIC – *total inorganic ionic content* - celkový obsah anorganických iontů

TSP - *total suspended particles* – celkový počet suspendovaných prašných částic (aerosol)

WSOC - *water soluble organic compounds* – ve vodě rozpustné organické látky

Obsah	
A – Rešerše odborné literatury	7
1 Úvod.....	7
2 Monitoring mlhy v České republice	8
3 Mlha.....	9
3.1 Horizontální srážky.....	9
3.2 Mlha - definice.....	9
3.3 Rozlišení mlhy a stratu	10
3.4 Vznik mlhy, závislost na kondenzačních jádrech.....	10
3.5 Vývoj mlžné epizody.....	10
3.6 Zánik mlhy.....	11
3.7 Druhy mlh.....	12
3.7.1 Stupně intenzity mlhy dle dohlednosti	12
3.7.2 Willettova klasifikace mlh podle podmínek a způsobu vzniku.....	12
3.7.3 Dělení z hlediska příčiny vzniku a místa vzniku.....	13
3.7.4 Dělení dle složení (skupenství částic)	13
4 Atmosférická depozice.....	14
4.1 Atmosférická depozice – definice a rozdělení.....	14
4.2 Atmosférická depozice mlhy	14
4.3 Vliv mlhy na vegetaci.....	16
5 Složení mlhy a jeho měření.....	17
5.1 Odběrová zařízení.....	17
5.1.1 Pasivní odběrová zařízení.....	17
5.1.2 Aktivní odběrová zařízení	18
5.1.3 Vedlejší odběr	19
5.2 Sledované charakteristiky.....	20
5.2.1 Dohlednost	20
5.2.2 Obsah vody.....	20
5.2.3 Povrch vodních kapek	21
5.2.4 Velikost kapek.....	21
5.2.5 Chemické parametry	22
5.3 Složení - chemismus mlhy.....	23
5.3.1 Iontové složení mlhy	24
5.3.2 Organické látky v mlze	27
5.3.3 Kovy v mlze	28
5.3.4 Pevné částice v mlze	29

5.4	Závislost výskytu a složení mlhy na geografických a geomorfologických parametrech	29
5.5	Závislost výskytu a složení mlhy na povětrnostních situacích	30
5.6	Závislost výskytu a složení mlhy na čase	31
6	Mlhy v městech	33
6.1	Mlha	33
6.2	Smog	34
B	Praktická část	35
1	Úvod	35
2	Metodika	35
3	Výsledky	37
	Závěr	47
	Seznam použité literatury	48

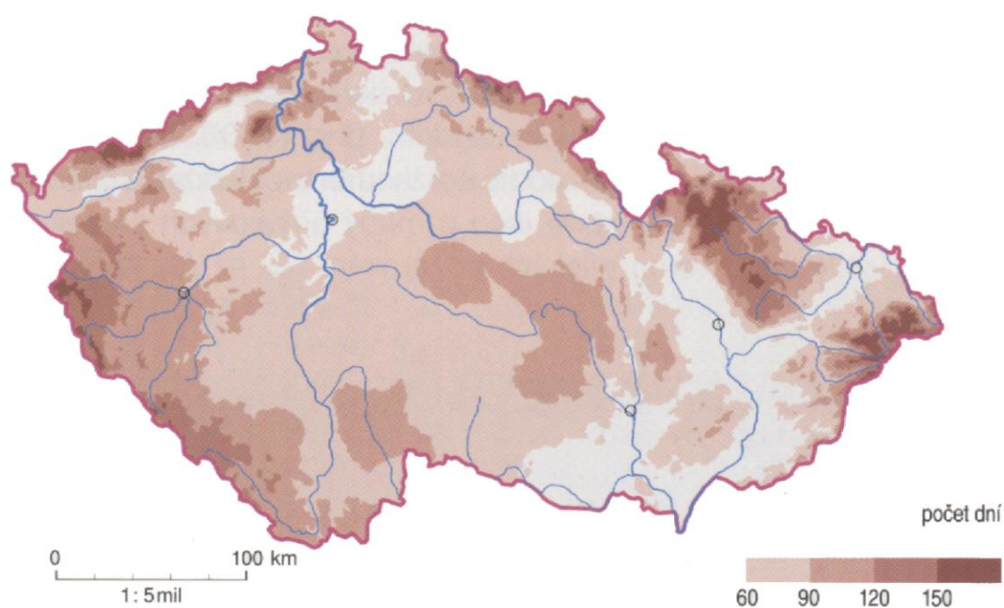
A – Rešerše odborné literatury

1 Úvod

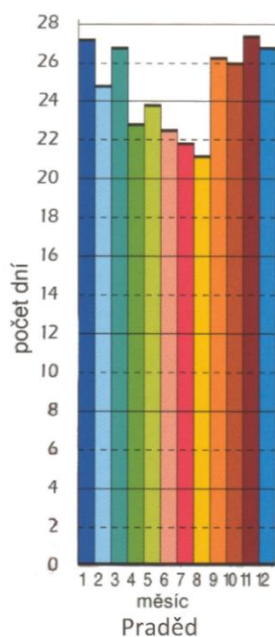
Výskyt mlhy není v České republice ojedinělou záležitostí (Tolasz et al., 2007). Jelikož se jedná o shluk kapiček snižujících dohlednost pozorovatele, je třeba se její problematice věnovat např. kvůli bezpečnosti dopravy (zejm. automobilové, letecké a lodní). Dalším faktorem, který ovlivňuje, je vodní bilance. V místech bohatých na mlhu nebo extrémně chudých na jiný druh srážek může představovat významný zdroj vody (Fišák & Tesař, 2014). V České republice tvoří mlha zásobu vláhy pro vegetaci při delších a stále častějších obdobích bez deště (Hadaš in Lapin & Matějka, 2006; Chládková & Kalvanová, 2005). V místech, kde se mlha drží po 30% a více ročního času, se její příspěvek vody vyrovná objemu vody z vertikálních srážek (Pahl, 1996).

Mlha tvoří i významnou depoziční složku a podílí se tak na geochemických cyklech a funkcích ekosystémů (Weathers et al., 1986). Např. dusík je na některých místech ČR mlhou deponován ve stejném množství jako vertikálními srážkami (Hůnová et al., 2016). V Krkonoších je mlha dokonce významnější depoziční cestou než vertikální srážky (Blaš et al., 2002). Mlha ovlivňuje i vegetaci, stavební materiály a v neposlední řadě na dýchací soustavu člověku (Skybová, 2007).

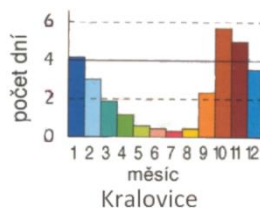
Výskyt a složení mlhy se různí po celém světě. Pro mlhu jsou zásadní povětrnostní podmínky a zeměpisná šířka. Kolem pólů je její výskyt zvýšený díky nízké teplotě, kolem rovníku díky vyšší vlhkosti. Nízký výskyt mlhy je v pobřežních oblastech, kde bývá intenzivní cirkulace vzduchu (Blaš & Sobik, 2016). Jak ukazuje obr. 1, i na území České republiky je čestnost výskytu mlhy



Obr. 1 Počet dní s mlhou (1981-2000) na území České republiky (Tolasz et al., 2007)



Obr. 2 Počet dní s mlhou v jednotlivých měsících na Pradědu (Tolasz et al., 2007)



Obr. 3 Počet dní s mlhou v jednotlivých měsících v Kralovicích (Tolasz et al., 2007)

velmi různá. Je patrné, že minimálně v horských oblastech vliv mlhy nelze opomenout. Místo s nejvyšším výskytem mlhy v ČR představuje hora Praděd v Hrubém Jeseníku. V těsném závěsu se za ním drží Sněžka, Lysá hora, o něco méně pak Milešovka. Nejmenší výskyt je zaznamenáván v městě Kralovice (okres Plzeň-sever). Na Pradědu a Sněžce činí průměrný roční počet dní s mlhou od 297 dní výš (přibližně 5/6 roku) (Sobik & Błas, 2016; Tolasz et al., 2007). I v letních měsících je zde průměrně přes 20 dní s mlhou, kdežto v Kralovicích činí průměrný počet dní s mlhou za celý rok pouhých 28 dní (tedy necelou dvanáctinu roku). Z českých měst (v nichž probíhá monitoring) vykazuje nejvyšší výskyt mlhy Plzeň, která dosahuje alespoň pěti mlžných dní ve všech měsících, čímž překonává i horský Harrachov. Velmi nízkých hodnot nabývají stanice na Moravě a ve Slezsku, které v březnu-červenci nevykazují průměrně ani jeden mlžný den v měsíci a mají výraznější roční chod (Tolasz et al., 2007).

2 Monitoring mlhy v České republice

V České republice se výzkum mlhy začal rozvíjet přibližně v polovině osmdesátých let 20. století, první monitorovací stanicí se stal v roce 1961 šumavský Churáňov. Monitoringu se věnuje hlavně ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav), Ústav fyziky atmosféry a Ústav pro hydrodynamiku Akademie věd ČR. Sleduje se výskyt, četnost nebo průběh, porovnávají se koncentrace polutantů v mlze v souvislosti s průmyslovým zatížením a možným transportem, zjišťují se vztahy mezi fyzikálními a chemickými vlastnostmi a dávají se do kontrastu s jinými typy srážek a stanovišť (Fišák, 2004). Impulzem k výzkumu mlhy (a celkově horizontálních

srážek) byla problematika malých povodí, ve kterých hrála depozice znečišťujících látek z horizontálních srážek výraznou negativní roli a podílela se též vysokou měrou na vodní bilanci povodí (Braniš & Hůnová, 2009; Hadaš in Lapin & Matějka, 2006). Další důležitou lokalitou, byl tzv. Černý trojúhelník – silně industrializovaná oblast Mostecké pánve a jejího okolí se stabilními povětrnostními podmínkami a pouze mírným prouděním, které podporuje setrvání znečištěné mlhy. Dnes jsou emise znečišťujících látek značně sniženy a zotavuje se i vegetace nedalekých Krušných hor (Braniš & Hůnová, 2009; Fišák, 2004; Schüttauf et al., 2010).

3 Mlha

3.1 Horizontální srážky

Horizontální (usazené, okultní) srážky představují typ atmosférických srážek, který na rozdíl od srážek padajících (vertikálních) nevzniká v oblacích, ale formuje se přímo u zemského povrchu a není pro něj typický vertikální průstup atmosférou (ČMeS-eMS; Fišák, 2004).

Skybová (2007) dělí horizontální srážky na mlhu a horizontální srážky přisedlé, k nimž se řadí námraza a jinovatka, které přímo vznikají usazováním a mrznutím mlhy. Fišák (2004, 2007, 2014, etc.) samotnou mlhu za srážku nepovažuje. Mlha se může usadit ve srážku formou jinovatky. Námraza, jakožto úkaz vznikající prostou desublimací páry na povrch, s mlhou nespojuje.

Práce je zaměřena na samotnou mlhu (vycházející z definice mlhy) s označením „horizontální srážka“, kterou užívá většina zahraničních autorů.

3.2 Mlha - definice

Mlha je epizodický atmosférický jev, který je tvořen souborem vodních kapiček nebo ledových krystalků, které jsou rozptýleny ve vzduchu (Bednář, 1985; Tolasz et al., 2007). V jedné epizodě se mohou vyskytnout částice obou skupenství o velikosti 1 nm – 100 μm (Hovorka in Braniš & Hůnová, 2009). Mlha je však definována jako stav atmosféry se sníženou vodorovnou dohledností pod 1 km alespoň v 1 směru, která je způsobena shlukem těchto částic při zemi (Skybová, 2007; Tolasz et al., 2007), jelikož je mlha na pohled nerozeznatelná od přízemního oblaku typu stratus – oblaku se základnou do 2 km nad zemským povrchem (často však do 1 km) šedavé barvy bez jasné struktury (Bednář & Zikmunda, 1984). Pokud je snížení dohlednosti pod 1 km způsobeno stratem vzniklým u země nebo stratem navátým na horský svah či hřeben, považujeme jej za mlhu. Meteorologická dohlednost vyjadřuje nejvyšší vzdálenost, na kterou lze bezpečně rozeznat černý předmět umístěný u země s úhlovou vzdáleností 0,5° – 5°. V noci se místo černého předmětu udává spolehlivá rozeznatelnost svítícího objektu o přibližně stále stejné svítivosti a směru svícení (Tolasz et al., 2007; Vysoudil, 2004).

3.3 Rozlišení mlhy a stratu

Rozlišení mlhy od stratu vyžaduje laboratorní analýzu. Mlžné vzorky jsou zpravidla mineralizovanější a jejich kapky vykazují menší obsah vody – LWC (liquid water content) na objem kapky (Eldridge, 1971; Tesař et al., 2004). Díky tomuto vztahu jsou kapičky mlhy všeobecně menší než kapičky tvořící oblaka. Pokud je mlha tvořena oblakem, průměr jejích částic se pohybuje v rozmezí 1 – 40 μm (Skybová, 2007).

3.4 Vznik mlhy, závislost na kondenzačních jádrech

Pro vznik mlhy jsou klíčové meteorologické podmínky příznivé pro kondenzaci vodní páry, případně pro desublimaci vodní páry, a jsou přítomny ve výšce do 200 m nad zemským povrchem (Skybová, 2007). Často se mlha vyskytuje jako důsledek teplotní inverze, při níž se v této přízemní vrstvě drží studenější vlhčí vzduch. Dle Skybové (2007) hrají při tvorbě mlhy hlavní roli tyto tři faktory:

- tlak vodní páry
- rosný bod
- stav nasycení a přesycení

Vodní pára ve vodu kondenzuje v případě, že teplota vzduchu poklesne pod teplotu rosného bodu nebo se jí dostatečně přiblíží (Tolasz et al., 2007; Vysoudil, 2004). Rosný bod představuje teplotu, při níž dojde v důsledku izobarického ochlazování k maximálnímu nasycení vzduchu vodní parou. Další podmínkou kondenzace je přítomnost kondenzačních jader, což jsou částice schopné poutat vzdušnou vlhkost. Jedná se o aerosol s poloměry mezi 10^{-8} – 10^{-5} m. V 1 cm^3 se průměrně nachází 10^4 těchto částic (Bednář, 2003). Bez kondenzačních jader by bylo vytvoření zárodku kapky příliš energeticky náročné, muselo by dojít k přesycení vzduchu v řádu stovek procent (Bednář & Zikmunda, 1984). Jako účinná jádra kondenzace pro mlhu slouží částice prachu nebo kouře, zbytky solí – zejména síranů, dusičnanů (Braniš & Hůnová, 2009).

3.5 Vývoj mlžné epizody

Pro další vývoj mlhy je dle Potužnickové a Sedláka (2003) klíčová rovnováha mezi těmito třemi faktory:

- a) Dlouhodobé radiační ochlazování zemského povrchu v horních partiích mlhy
- b) Turbulentní výměna mezi zemským povrchem a atmosférou
- c) Gravitační usazování kapek

Pro již stabilně zformovanou mlhu byly v Česku určeny tyto vývojové fáze bez ohledu na roční období na příkladu radiační mlhy:

1. Iniciační - Počátek formování mlhy, tvorba inverze (zejména po západu slunce), při níž je v 10 m nad zemí teplotní nárůst o 4°C oproti zemskému povrchu.
2. Rozvinuté/zralé stádium – Mlha dosahuje takové mocnosti, že její základna se od země zdvíhá, protože se maximum radiačního ochlazování posunuje směrem vzhůru. V této fázi se střídá houstnutí se zředěním až rozpouštěním. Okraje mlhy jsou již ovlivňovány vtahováním suchého a teplého vzduchu z okolí. Kapky se ochlazují a rostou, čímž se zvyšuje jejich pádová rychlost.
3. Turbulentní fáze – Díky turbulencím je mlha téměř homogenní fází. Toto stádium nastává nejčastěji před východem slunce, kdy je nejnižší teplota vzduchu.
4. Disipační – Mlha se definitivně odděluje od zemského povrchu, který se čím dál více zahřívá (Potužníková & Sedlák, 2003).

Během epizody se mění pH i složení mlhy. Na počátku jsou koncentrace iontů relativně vysoké, v průběhu se ale roztok zředí se zvyšujícím se obsahem vody v kapičkách. Při evaporaci kapiček se koncentrace polutantů opět zvyšují a pH klesá (Seinfeld & Pandis, 2006). Nejnižší koncentrace vykazují vzorky zhruba v polovině délky trvání mlžné epizody, některé ionty dosahují na konci epizody stejných koncentrací jako na jejím počátku (Fišák & Řezáčová, 2000).

Díky všeobecně nízké hmotnosti mlžných kapiček téměř neprobíhá jejich přenos prouděním vzduchu z místa zformování a mlha po celou dobu trvání setrvává na stejném místě (Skybová, 2007).

3.6 Zánik mlhy

Mlha obvykle zaniká v dopoledních (na horách v odpoledních až večerních) hodinách při zvýšení teploty a vyrovnáním jejího průběhu s nadmořskou výškou, nebo rozfoukáním při přesunu vzduchových mas (Braniš & Hůnová, 2009; Strnad et al., 1988). Na druhou stranu může rozpad mlhy pozdržet vzduchová masa přinášející oblačnost. Pokud se nad mlhu nasunou oblaka, sníží se v důsledku zastínění přísun slunečního záření, které by mohlo přízemní vrstvu s mlhou oteplít (Gurka & Oliver, 1974). Při žádném nebo nepatrném proudění vzduchových mas uvádí Elton (1958) ještě další tři základní možnosti zániku mlhy:

- ubývání mlžných kapiček koagulací
- sedimentace kapek k zemi
- změny velikostí částic a jejich rozmístění v důsledku změny tlaku vodní páry (S různou velikostí částic se mění podmínky pro udržení rovnovážného stavu s tlakem.)

Mlha se též může začít vypařovat. V důsledku různých teplot a koncentrací dochází k narušení rovnováhy celého systému a následnému rozpadu mlžné epizody (Toor, 1971).

Mlhy, které obsahují širší velikostní spektrum částic, avšak převažují mezi nimi částice velké (poloměry v desítkách mikrometrů), mají tendenci setrvávat déle, zabírají větší plochu a mají větší mocnost (Kumai, 1973).

3.7 Druhy mlh

Mlhy v České republice dělíme do kategorií podle několika hledisek:

3.7.1 Stupně intenzity mlhy dle dohlednosti (Vysoudil, 2004):

1. **mlha slabá**: dohlednost 500 – 1000 m
2. **mlha mírná**: dohlednost 200 – 500 m
3. **mlha silná**: dohlednost 50 – 200 m
4. **mlha velmi silná**: dohlednost do 50m

3.7.2 Willettova klasifikace mlh podle podmínek a způsobu vzniku (ČMeS-eMS; Vysoudil, 2004):

A) Mlhy uvnitř vzduchových hmot:

Radiační: Mlha radiační neboli mlha z vyzařování je nejtypičtějším druhem mlhy (v podmínkách mírného pásu). K jejímu vzniku dochází při radiačních inverzích, kdy se stoupající výškou atmosféry roste teplota vzduchu v důsledku radiačního vyzařování země, které převažuje nad zářením na zem dopadajícím. Tím se vzduchová hmota u zemského povrchu izobaricky ochlazuje a vznikají výše popisované vhodné podmínky pro formaci mlhy. Inverzní situace jsou obvyklé v noci, v chladnějších částech roku tento stav může setrvat i po celý den. Dle vertikální mocnosti vzniká **přízemní** (nebo také **nížká**) **mlha**, zasahující maximálně do výšky desítek metrů nad zemí, výše se může formovat **vysoká (inverzní) mlha**. Vysoká mlha může mít ale původ stovky metrů nad zemským povrchem ve formě stratu, který naopak klesá níž. (U přízemní a vysoké mlhy také možnost zařazení do vlastní kategorie dle vertikálního rozsahu.)

Advekční: Advekční mlhy se též tvoří v důsledku ochlazování vzduchové masy, ke snižování teploty ale dochází v důsledku nasunutí teplejšího vlhkého vzduchu nad chladnější povrch. Někdy je za advekční mlhu počítán i zvýšený výpar při násunu naopak studeného vzduchu nad teplou hmotu.

Advekčně – radiační: Tento typ mlhy vzniká při spojení obou předešlých dějů.

B) Mlhy frontální:

Mlhy postupující společně s frontálním tlakovým rozhraním vznikají díky advekci vzduchových hmot nad různě zahřátými povrchy. Roli zde hrají i vypadávající srážky, které zvyšují nasycení

vzduchu vodní parou, a pokles tlaku vzduchu před frontou. Mlhy se pak dělí dle místa výskytu ve frontálním systému na **předfrontální** a **zafrontální**.

3.7.3 Dělení z hlediska příčiny vzniku a místa vzniku (ČMeS-eMS; Vysoudil, 2004):

Městská: Vznik v souvislosti s předešlými podmínkami a fenoménem městského tepelného ostrova, kdy je nad městem azonálně zvýšena teplota vzduchu.

Údolní a svahová (orografická): Mlha v údolích se formuje díky specifickému reliéfu, kdy chladný vzduch může stékat z hor do údolí a vytvořit tak ideální podmínky pro formaci mlhy. Svahová mlha se týká návětrných stran hor, po nichž naopak vystupují vzduchové proudy, které se díky stabilním teplotním podmínkám nasyceného vzduchu adiabaticky ochlazují.

Mlha z vypařování: Mlhy z vypařování vznikají nad vodními plochami, které lépe akumulují teplo, a proto se může být vzduch nad nimi studenější. Voda vypařující se z vodní plochy začne brzy kondenzovat a dle rozsahu vodní plochy vytvoří adekvátní mlžnou strukturu, která může výrazně zasahovat i na pevninu. Nejvyšší výskyt je u ledovců a jejich přilehlých moří. V ČR k tomuto jevu dochází nad jezery a vodními toky, kde vzniká **mlha jezerní** a **mlha říční**.

Mlha z promíchávání: Jedná se o krátkodobou mlhu, která se objevuje při nefrontálním styku a promíchávání různě teplých vzduchových hmot.

Do této kategorie spadají i některé z již zmíněných druhů – např. mlhy **frontální**, mlha **inverzní** nebo mlha **přízemní**.

3.7.4 Dělení dle složení (skupenství částic) (ČMeS-eMS):

Klasickou mlhu mohou tvořit jak vodní kapky, tak zmrzlé ledové krystalky. Vyčleňují se ale druhy mlh specifické svým složením a podmínkami vzniku (pro naše území):

Mlha mrznoucí (přechlazená): Mlha, která se vyskytuje při záporných teplotách vzduchu (a to i velmi hluboko pod bodem mrazu), obsahuje však kapalně skupenství – přechlazené kapky vody. Typicky se při ní tvoří námraza.

Mlha zmrzlá (ledová): Mlha je charakteristická pro silné mrazy (-30°C a méně) a nízký obsah vodní páry. Tvoří ji krystalky ledu, a proto může docházet k odražení světla vnímanému jako jiskření. Absolutní vlhkost vzduchu je zde díky extrémně nízké teplotě nižší než u mlhy mrznoucí a nedochází ke vzniku námrazy.

Existuje ještě množství dalších mlh, které se ale na našem území nevyskytují. Jedná se ku příkladu o mlhu mořskou, pobřežní, nebo monzunovou.

Kupříkladu na Milešovce byla mlha před započítáním kontinuálního monitoringu sledována již v letech 1910-1939. Při porovnání s pozorováním z let 1956-1960 plyne zřetelné navýšení

počtu dní s mlhou. Jako důvod je zde uvedeno navýšení exhalací z počínajícího průmyslu. Procentuální zastoupení jednotlivých mlh v té době bylo (Koldovský, 1968):

10-15% advekční údolní mlha

25-30% mlh z konvenční oblačnosti

55-65% ostatní mlhy

V dnešní době se druh mlhy buď vůbec neurčuje (s výjimkou případného rozlišení na mlhu a stratus), nebo pouze není uváděn v literatuře.

4 Atmosférická depozice

4.1 Atmosférická depozice – definice a rozdělení

Depozice je výraz označující mechanismus samočištění atmosféry nebo jeho výsledek, kdy znečišťující příměsi odchází k zemskému povrchu a zakomponují se do ostatních sfér země. Pro atmosféru je to děj pozitivní, ovšem pro ostatní dotčené sféry může představovat nebezpečí. Depozice je kvantifikována hmotností sledované látky na jednotku plochy za určitý čas – nejčastěji [$\text{g} \cdot \text{m}^2 \text{rok}^{-1}$] nebo [$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \text{rok}^{-1}$]. Díky tomu dochází k udržování dynamické rovnováhy systému mezi zdroji látek (vstupy do atmosféry) a jejich propady (odchody z atmosféry). Atmosférická depozice je realizována dvěma cestami – suchou a mokrou (Bednář, 1985, Hůnová & Janoušková, 2004).

Suchá depozice se děje přímým poutáním vzdušných částic na nějaký povrch. Je neustálá a poměrně pomalá, koncentrace deponovaných látek je nízká a uplatňuje se spíše v bezprostřední blízkosti zdroje.

Mokrá depozice naopak představuje proces epizodický, který je rychlý a má vyšší čistící účinek. Děje se dvěma způsoby: *washout* a *rainout*, do češtiny překládanými jako *vymývání* a *vypršení*. K *vymývání* (nebo též *podoblačnému vymývání*) znečišťujících příměsí ze vzduchu dochází při srážkových epizodách, kdy je příměs k zemi stržena pádem např. vodní kapky nebo sněhové vločky skrz vzduchový sloupec. Při *vypršení* však příměs slouží jako jádro kondenzace, na kterém se kapka formuje (Hůnová & Janoušková, 2004). Pokud je znečišťujících částic příliš velké množství, dochází k přeinfekci prostředí, voda kondenzuje na příliš mnoha částicích zároveň a zárodky kapek nemají v okolí dostatek volné páry ke zvětšení svého objemu a váhu nutnou k uskutečnění pádu (Bednář & Zikmunda, 1984).

4.2 Atmosférická depozice mlhy

Mlha je součástí depozice mokré horizontální. V ČR tvoří významný příspěvek k celkové depozici, na některých místech dokonce nejvýznamnější (Prošková & Hůnová, 2006).

Horizontální depozice je však obtížně kvantifikovatelná veličina (Prošková & Hůnová, 2006), jelikož srážky nelze nasbírat jednoduše díky gravitačnímu toku. Kapičky mlhy jsou ve svých pohybech ovlivňovány turbulencemi do jiných než sestupných směrů, i když často zanedbatelnými (Thalmann, 2001). Pro výpočet nebo alespoň odhad mlžné depozice je možné použít mikrometeorologického depozičního modelu (Lovett, 1984) nebo modelu hydrobiologické bilance v korunách stromů (Lovett in Prošková & Hůnová, 2006).

Jako příklad depozičního toku uvádím v tabulce č. 1 průměrné roční hodnoty množství deponovaných jednotlivých látek v $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ ze Šumavského Churáňova za období 1994-2006 (Tesař et al., 2007).

Od devadesátých let se v České republice depozice znečišťujících látek výrazně snížila. Např. mezi lety 1995 a 2011 klesla depozice síry z 18,1 na $0,2 \text{ g} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ – nejvíce v oblasti tzv. Černého trojúhelníka. Depozice dusíku s hodnotou $2,5 \text{ g} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ však stále překračuje kritickou hodnotu pro střední Evropu $1 \text{ g} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ (Hůnová et al., 2013).

Tab. 1 Depoziční tok na Churáňově v letech 1994-2006 (Tesař et al., 2007)

ion	depozice [$\text{kg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$]	kov	depozice [$\text{kg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$]
H ⁺	5,61	Mn	1,78
Na ⁺	37,34	Zn	8,71
K ⁺	44,45	Fe	7,11
NH ₄ ⁺	692,53	Al	8,89
Ca ²⁺	80,90	As	0,17
Mg ²⁺	15,11	Cd	0,05
F ⁻	4,45	Pb	1,13
Cl ⁻	94,23	Cu	0,10
NO ₃ ⁻	1466,85	mlžné srážky[mm]	88,9
SO ₄ ²⁻	1413,51		

Vliv depozice na půdu či horniny závisí i na litologických vlastnostech. V ČR byly zkoumány podmínky půd v Krkonoších, na Šumavě a v Moravskoslezských Beskydech. Nejlépe se s kyselou depozicí dokáže vyrovnat beskydský flyš, který obsahuje vápenaté karbonáty, které jsou zásaditější a jsou tedy schopné okyselování odolávat (Purdon et al., 2004).

Dnes se pravidelný odběr mlžné vody provádí na sedmi stanovištích:



Obr. 4 Rozmístění odběrových stanic pro mlžnou vodu v České republice (Tesař et al., 2000)

Urbanizované plochy:

- A – Praha-Libuš, 304 m n. m.
- B – Jablonec nad Nisou, 550 m n. m.
- C – Kopisty, 240 m n. m.

Horské oblasti:

- 1 – Šumava
- 2 – Jizerské hory
- 3 – Krkonoše
- 4 – České středohoří (Milešovka)

(Tesař et al. 2000; Fišák et al., 2002)

4.3 Vliv mlhy na vegetaci

Jelikož mlžné kapky (a horizontální srážky obecně) setrvávají v ovzduší po delší časové období než vertikální srážky, které rychleji stékají a vsakují se do země, mají vyšší vliv na povrchy, s nimiž přichází do styku (Fišák & Tesař, 2014). Jejich působení na lesní ekosystémy ve vyšších polohách bylo poprvé popsáno Merlothem již v roce 1906 (Zimmermann & Zimmermann, 2002). Prokazatelný silný vliv živin a polutantů na ekosystémy pro ČR dokázal např. Fišák et al. (2002).

Nejčastěji sledovanou problematickou vlastností je v souvislosti s vegetací hodnota pH mlhy. Pokud je mlha kyselého charakteru, rostliny v podstatě dlouhodobě setrvávají v kyselině (Fišák & Tesař, 2014). Malé mlžné kapičky zvyšují vlhkost prostředí a k jejich případné koagulaci dochází až po 4 h setrvání na povrchu rostliny (Pahl, 1996). Při případném výparu mohou vznikat ještě kyselější roztoky, které poškozují ochranné vosky na povrchu listů (Frevert & Klemm, 1984). Mlha svým nepohyblivým charakterem působí nejen na svrchní strany listů (jako srážky vertikální), ale i na jejich spodní části (Zimmermann & Zimmermann, 2002). Čím větší plocha, tím nebezpečnější. Proto jsou obecně lesy více zatíženy než travní porosty (Eliáš et al., 1995; Thalmann, 2001). Při nižším pH zvláště jehličnaté stromy vykazují nižší přírůstky, jehlice

žloutnou, až opadávají (Godek et al., 2011). Listnaté stromy asimilačním aparátem přijímají nižší množství iontů, jelikož olistění častěji obměňují, ohrožena jsou však jejich semena, která při dlouhodobém vystavení pH 3 či nižšímu potlačují svůj růst i fyziologickou aktivitu (Yamaguchi et al., 2015). Dalším negativem jsou těžké kovy, které zpomalují růst a vývoj rostlin, navíc mají dlouhou dobu setrvání (Chalupecký, 2008).

Na jižní Moravě mlha (a ostatní horizontální srážky) představují v podstatě jediný zdroj vody v oblasti lužních lesů, pokud nastane období sucha. Během celého vegetačního období se zde může vytvořit více než 40 mm horizontálních srážek. Podíl měsíčních sum horizontálních srážek na celkové měsíční sumě atmosférických srážek dosahuje běžných hodnot 15-20 %, ojediněle 30 až 40 %. V extrémních situacích (extrémně suchý měsíc) však přesahuje podíl i 70 % (Hadaš in Lapin & Matějka, 2006).

Po celé České republice je aktuálním rizikem pro vegetaci vysoká atmosférická depozice dusíku. Dusík je sice biogenním prvkem nezbytným pro výživu rostlin, jeho nadbytek ale může měnit ekosystémové toky a snížit biodiverzitu stanovišť (Xiankai et al. in Braniš & Hůnová, 2009; Hůnová et al., 2016). Celková depozice dusíku vykazovala nejstrmější pokles po roce 1989 v důsledku změny politického a ekonomického systému (s výkyvem v roce 1996), v posledních letech již úbytek není tolik výrazný (Braniš & Hůnová, 2009).

5 Složení mlhy a jeho měření

5.1 Odběrová zařízení

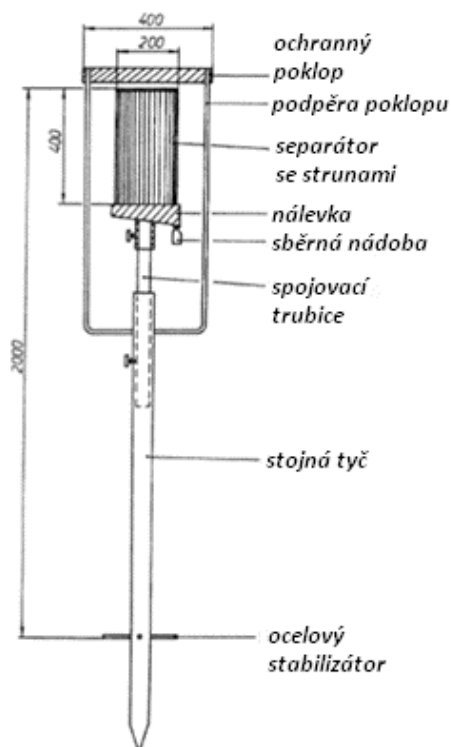
K odběru vzorků se využívá pasivních či aktivních kolektorů. K odběru vzorku dochází jen v průběhu mlžné epizody (Fišák, 2004). Všechny odběrné láhve se vzorky se uchovávají ve tmě při teplotě 4°C a před odběrem jsou několikrát vyplachovány HCl a destilovanou vodou. Je žádoucí provést analýzu vzorků co nejdříve po odběru (Tesař et al., 2004).

5.1.1 Pasivní odběrová zařízení

Pasivní kolektory představují jednodušší ale méně efektivní metodu, která se v Čechách používá spíše pro pevné srážky z mlhy. Z pasivních kolektorů se většinou nenashbírá dostatečný objem vzorku pro kompletní analýzu. K jejímu uskutečnění je potřeba alespoň 100 ml (Fišák., 2004). Situace může být kompenzována slitím vzorků z více zařízení, která měřila po stejnou dobu stejnou epizodu (Fišák & Řezáčová, 1999).

Kapky se v tomto zařízení volně zachytávají do odběrné nádoby. Nádoba je umístěna ve sběrném rámu ve výšce přibližně 2 m nad zemí a tvoří ji dva disky, mezi nimiž se pnou struny s průměry v desetinách milimetrů a efektivní délkou několik set metrů. Takováto zařízení použitá

v Krušných horách mají plochu k zachytávání mlžných kapek 314 cm² (Fišák et al., 2009; Lange et al., 2003). Pro měření v Krkonoších se využívají rozměrově podobná zařízení, jejichž záchytná plocha je až 400 cm² (Blaš et al., 2012). Mlžné kapky se na strunách zachycují a ukapávají do spodní pánvičky a z ní do vzorkovacích 500 ml polyethylenových nádob. Aby do vzorků nenapršelo nebo nedošlo k jiné kontaminaci, je celé zařízení chráněno poklopem. Efektivita sběru však představuje jen 10% (Lange et al., 2003).



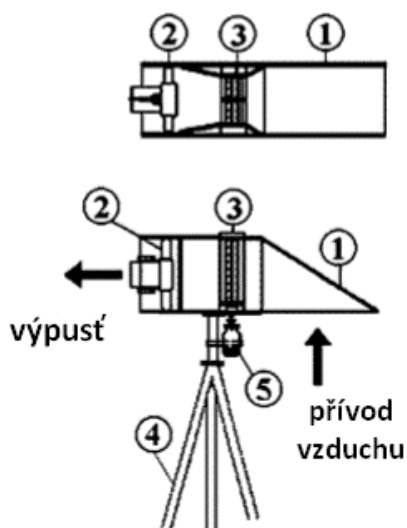
Obr. 5 Schéma pasivního kolektoru mlhy (Lange et al., 2003)



Obr. 6 Fotografie pasivního kolektoru mlhy - detail (Fišák et al., 2009)

5.1.2 Aktivní odběrová zařízení

Podstatou aktivních kolektorů je ventilátor nasávající vzduch. Zařízení nejprve detekuje pokles vodorovné dohlednosti pod 1 km díky počasovému detektoru, který ovšem nelze použít v mrazových obdobích (Fišák et al., 2008; Chalupecký, 2008). Přístroj je dále složen ze dvou bloků a nádob ke sběru vzorků. První část (obr. 9 zleva) se skládá se z ventilátoru a usměrňovače proudu vzduchu, který kontinuálně pohání mlžný vzduch do zbytku měřicího přístroje a zabraňuje vzniku vírů (Degefie et al., 2015).

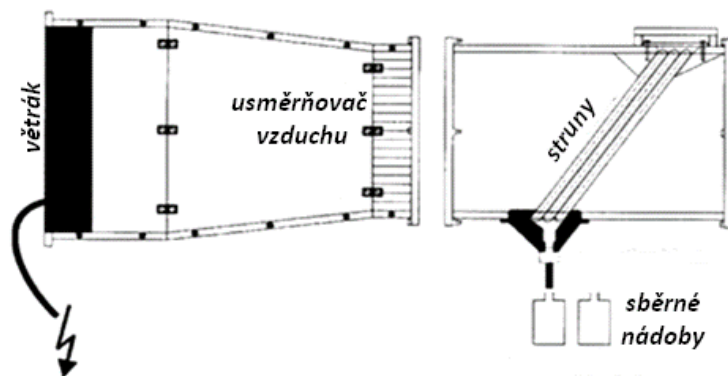


Obr. 7 Schéma celého aktivního kolektoru mlhy:
1) odběrač vzorků – 2) ventilátor – 3) zásobník se strunami – 4) stojan – 5) sběrná nádoba



Obr. 8 Fotografie aktivního kolektoru mlhy na Churáňově (ČHMÚ)

Druhou část tvoří vodomlzná jednotka, v níž dochází ke koalescenci vody. Stěna má šířku 1 cm a je vyrobena z vysoce odolného a chemicky nereaktivního materiálu. Mezi stěnami se opět pnou struny, jejichž poloměr je větší než 1 mm. Po nich kapky sjíždějí do polyethylenových nádob. Efektivita tohoto kolektoru je kolem 88% - záleží na velikosti kapek (Degefie et al., 2015). Takovéto zařízení je použito např. na Churáňově (Fišák, 2004). Pro sběr mlhy ke stanovování organických příměsí byl vyvinut speciálně upravený aktivní kolektor (Herckes et al., 2002).



Obr. 9 Schéma funkční části aktivního kolektoru mlhy (Degefie et al., 2015)

5.1.3 Vedlejší odběr

Horizontální srážky mohou být přimíšené do odběrových zařízení pro vertikální depozici. Pokud se jedná o typ *bulk*, nádoba je vystavena neustálému přísunu deponovaných látek a to jak vertikálních, tak horizontálních a současně i suše deponovaným. Při metodě *throughfall* je nádoba umístěna pod lesním porostem, po němž srážky volně stékají. Nachází se zde po dobu až jednoho

měsíce, kdy již podíl horizontálních srážek může být nezanedbatelný (Braniš & Hůnová, 2009). Jedná se zároveň o sběr, jehož výsledkem jsou kapalné vzorky s nejvyšším množstvím znečišťujících látek, protože splachují prašný opad z korun stromů a smývají z povrchu též metabolity stromů (Fišák et al., 2009). Pro eliminaci příspěvku horizontálních srážek je nejlepší typ *wet-only*, který svou sběrnou nádobu odkrývá pouze při průběhu srážkové epizody. Pokud tedy neprobíhá současně i epizoda mlžná, jedná skutečně jen o vzorek vertikálních srážek (Braniš & Hůnová, 2009).

5.2 Sledované charakteristiky

U mlhy se nejčastěji stanovují chemické a fyzikální vlastnosti. Pro sledování trendů ve složení a chování mlh je důležitý jejich původ a skutečné rozlišení mlhy od stratu, dále také teplota vzduchu a informace o možném výskytu rozhraní vzduchových hmot. Pokud mlha vzniká na jejich rozhraní, je pak podstatné, ve které části byl vzorek odebrán (Fišák, 2004).

5.2.1 Dohlednost

Dohlednost souvisí s intenzitou (hustotou) mlhy, podle níž se mlhy dělí do stupňů síly (kapitola 3.7.1) a je ovlivněna velikostí kapek a jejich množstvím v určitém objemu. Např. v devadesátých letech byla na hoře Milešovka (837 m n. m.) naměřena dohlednost nižší než 100 m (tedy silná až velmi silná mlha) v 85% mlžných epizod. Na druhé straně na stanici Kopisty (240 m n. m.) byla takováto dohlednost jen ve 12% případech (Fišák & Řezáčová, 1999).

5.2.2 Obsah vody

LWC (liquid water content) neboli obsah kapalné vody ve vzorku mlhy vyjadřuje poměr vodné části kapky ku dalším příměsím. LWC je nutné znát pro hodnocení depozice znečišťujících látek z mlhy, pro stanovení jejich koncentrace. Pokud hodnota není experimentálně zjištěna, získává výpočtem – odhadem lineární regrese z koncentrací základních aniontů: Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} .

$$m = b \cdot \text{LWC}^{-1} + a \quad (1)$$

kde m je koncentrace hlavních aniontů v $\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, b regresní koeficient v $\text{nmol} \cdot \text{m}^{-3}$, pro jehož hodnotu je klíčové průmyslová zátěž a lze jej tedy vnímat jako míru znečištění; a je regresní konstanta v $\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, která zpravidla zůstává nulová (Fišák & Weignerová, 2007). LWC je udáno v $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (Elbert et al., 2000). U mlhy se pohybuje obvykle kolem $0,1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ vzduchu, u oblaků je potom přibližně o řád vyšší. Např. pro Milešovku byl vztah pro výpočet LWC stanoven jako: $m = 200,71 \cdot \text{LWC}^{-1}$ (Fišák & Weignerová, 2007).

LWC je také možno získat na základě dohlednosti díky rovnici lineární regrese, která charakterizuje matematicky vyjádřený vztah opět z Milešovky:

$$\text{LWC} = 0,0152 \cdot \text{VIS}^{-0,8582} \quad (2)$$

kde LWC je obsah vody v mlze v $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ a VIS vodorovná dohlednost v km (Fišák, 2007).

Průměrné hodnoty LWC se v Čechách pohybují v desetinách až setinách $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (Fišák, 2004; Fišák & Weignerová, 2004; Tesař et al. 2004; etc). Primárně jsou nejvíce ovlivňované teplotou vzduchu. Maxima LWC při kladných teplotách se na Milešovce vyskytla při teplotě kolem $2\text{-}3^\circ\text{C}$. Minima při záporné teplotě pak kolem -3°C a v kladné části při 10°C . Závislost LWC na teplotě tedy rozhodně není lineární. Při kladných teplotách je mlha více ovlivněna dalšími faktory jako např. množstvím kondenzačních jader. Při hodnotách nižších než -3°C snižuje LWC přeměna kapek v ledové částičky nebo usazování ve formě námrazy či jinovatky. Nejnižší mlžné LWC vykazuje únor - díky nejnižším naměřeným průměrným hodnotám teploty; díky průměrným teplotám kolem 10°C pak červen a červenec. Nejvyšší LWC v ČR vykazuje listopad a duben (Fišák, 2007; Fišák & Weignerová, 2004).

5.2.3 Povrch vodních kapek

V souvislosti s LWC se určuje PSA (particle surface area) - celkový povrch vodních kapiček v jednotkovém objemu (Fišák, 2007; Fišák & Weignerová, 2004). Závislost mezi obsahem základních iontů a celkovým povrchem vodních kapiček vyjadřuje tento vztah lineární regrese:

$$m = c \cdot \text{PSA}^{-1} + d \quad (3)$$

kde m je množství základních iontů (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) v $\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, c regresní koeficient v $\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, d konstanta v $\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$. PSA (po převrácení hodnoty z rovnice) vychází v $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$. Jako konkrétní příklad opět uvádím tvar rovnice pro Milešovku: $m = 54,5 \text{ PSA}^{-1}$ (Fišák & Weignerová, 2004).

5.2.4 Velikost kapek

Ze známého PSA a LWC je pak možné určit R_e – efektivní poloměr vodních kapiček dle vztahu:

$$R_e[\text{mm}] = 30000 \cdot \text{LWC}[\text{g} \cdot \text{m}^{-3}] / \text{PSA}[\text{cm}^2 \cdot \text{m}^{-3}] \quad (\text{Gerber in Fišák, 2007}) \quad (4)$$

Takovýto vztah předpokládá stejnou velikost poloměru všech částic mlžné epizody a částice prezentuje jako kulovité, což však zpravidla skutečnosti neodpovídá (Gerber in Fišák, 2007). Re je tedy pouze fiktivní veličinou (Fišák, 2004).

V některých oblastech má na velikost částic vliv i roční doba. Na podzim jsou při stejné dohlednosti mlžné částice menší a zároveň mají nižší obsah kapalně vody (Yamaguchi et al., 2015).

Velikost kapek úzce souvisí i s dohledností. Malé mlžné částice efektivněji snižují dohlednost díky jejich většímu počtu na objem vzduchu (Eldridge, 1971). Jako nejefektivnější byla zjištěna velikost poloměrů v rozmezí 0,3-8 μm . Různě velké částice také ovlivňují barevnou propustnost mlhou díky rozptylu a absorpci různých vlnových délek (Sirohi, 1961).

5.2.5 Chemické parametry

Při chemické analýze se stanovuje obsah chemických látek, vodivost a pH. Z chemické analýzy se pozornost nejčastěji zaměřuje na anorganické ionty. Stanovuje se koncentrace zvláště pro každý ion nebo veličinou zvanou TIC (total inorganic ionic content), která představuje celkový obsah anorganických iontů. S nižším obsahem vody (LWC) narůstá TIC. Vyšší obsah iontů je způsoben i celkovým větším PSA (Brewer et al., 1983; Prošková & Hůnová, 2006). Koncentrace iontů na některých místech může být v mlze 6-7x vyšší než v dešti (Lange et al., 2003).

Další veličinou, kterou je možno v souvislosti s iontovým obsahem stanovit je faktor obohacení, který udává poměr koncentrace iontů v usazených srážkách a ve vertikálních srážkách. V Česku je často vyšší v městských oblastech, kde je současně vyšší i LWC. Faktor obohacení všeobecně dosahuje velmi rozličných hodnot v intervalu od tisícín až ke stonásobkům koncentrací naměřených ve vertikálních srážkách (Prošková & Hůnová, 2006).

U TIC může hrát roli i původ mlhy. Vyšší koncentrace některých iontů mívají radiační mlhy, protože vznikají v bezprostřední blízkosti zemského povrchu, kde je vypouštěno nejvíce znečišťujících látek, opačná situace platí pro mlhu způsobenou stratem (Eliáš & Tesař, 1994).

Vodivost se stanovuje přístrojově a je udávána nejčastěji v $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$. Vyrůstá se zvyšováním obsahu iontů. Částečně souvisí i s hodnotou pH. Její hodnoty se v České republice pohybují mezi desítkami a stovkami $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$. V nejvíce znečištěných oblastech mohou dosahovat hodnot i přes 1000 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Fišák, 2004; Fišák et al., 2002; Tesař et al., 2004; etc).

V přírodních podmínkách srážková voda většinou vykazuje mírně kyselý až kyselý charakter. V Evropě se na snižování pH nejvíce podílí zejména ionty SO_4^{2-} a NO_3^- (Baniš & Hůnová, 2009). Naopak NH_4^+ pak pH zvyšuje (Fišák & Tesař, 2014). Horizontální srážky (stejně jako vertikální) mohou způsobovat acidifikaci prostředí. Acidifikace půdy v důsledku kyselých srážek může při pH nižším než 4 porušit ustálenou cirkulaci prvků (Godek et al., 2011).

V následující tabulce uvádím hodnoty z vzorků odebraných při mlžných epizodách na Milešovce (837 m n. m.) a z dříve experimentálně zjištěných dat z německé strany Krušných hor z hory Kleiner Feldberg – výškou (825 m n. m.) srovnatelné s Milešovkou.

Tab. 2 Srovnání hodnot vodivosti a pH na Milešovce a Kleiner Feldberg (Fišák & Řezáčová, 2000)

		Milešovka	Kleiner Feldberg
vodivost [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	průměr	159,9	-
	minimum	40,6	50
	maximum	537	900
pH	průměr	4,53	-
	minimum	3,58	2,8
	maximum	6,07	5

pH také může určovat, které látky se při daném stupni projeví jako účinná oxidační činidla. V rozmezí 2,8 – 4,7 představuje hlavní oxidant H_2O_2 . Mezi 5,5 – 6,9 (případně vyšší zásaditostí) ozón (Skybová, 2007).

Mnohé studie ukazují trvale nižší hodnoty pH mlžné vody (i oproti vodě z vertikálních srážek) i v čistých horských oblastech ČR (Tesař et al., 2004; Fišák, 2004). Např. v některých místech Krušných hor je stále znát vliv dřívějšího extrémně silného znečištění. V roce 2010 zde hodnoty pH ze smíšených srážek byly 3,5 a 3,7 a některé části byly stále velmi zatíženy polutanty (zvýšené koncentrace SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+). Koncentrace nitrátů byly dokonce vyšší než při měření v roce 2001, což může být zapříčiněno stále větším rozvojem automobilové dopravy (Schüttauf et al., 2010).

5.3 Složení - chemismus mlhy

Do chemismu mlhy se zařazuje obsah všech rozpuštěných iontů, rozpuštění plynných polutantů, všechny reakce, které probíhají uvnitř kapek při formování, průběhu a rozpadu epizody. S kapkami souvisí i jejich konečné vymytí nebo naopak počáteční vázání na aerosol. Aerosoly a větší částice mohou projít stádiem rozkladu a změnit svoji strukturu a schopnost reagovat. Reakce v atmosféře se často liší dle přítomného prostředí – plynné nebo vodní. Reakce, které jsou v plynné fázi velmi pomalé nebo málo efektivní, mohou ve vodním prostředí silně nabývat na důležitosti. Molekuly obsažené ve vodní kapce jsou schopné interakcí, jejichž produkty mohou být méně toxické než reaktanty (Skybová, 2007).

Změny ve složení vzorků nejvíce záleží na:

- 1) směru větru
- 2) průběhu mlžné epizody

3) změnách synoptických podmínek

(Fišák & Řezáčová, 2000; Skybová, 2007)

Voda v mlze bývá bohatší na přirozené ionty (Hůnová, 2001) i na znečišťující látky, protože kapky vznikají v blízkosti zemského povrchu (tedy blíže emisním zdrojům) a jsou schopné poutat více aerosolových částic. Koncentrace se také liší podle druhu mlhy (Blaš et al., 2002).

5.3.1 Iontové složení mlhy

Pokud jsou polutanty v mlze rozpustné, dojde k jejich disociaci na ionty. Množství polutantů v mlžných kapičkách by pak mělo být nepřímě úměrně jejich objemu (třetí mocnině efektivního poloměru R_e) za předpokladu, že se polutanty vyskytovaly v kapce od počátku její tvorby a růst kapek byl způsobován pouze poutáním vzdušné vlhkosti (Fišák, 2004). V ČR se nejčastěji detekují kationty H^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} a anionty F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} (Fišák et al., 2001, 2004, 2009; Tesař et al., 2004).

Ionty se laboratorně stanovují nejčastěji chromatograficky: Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} a SO_4^{2-} (Schüttauf et al., 2010), některé z nich mohou být stanoveny spektrofotometricky, F^- iontově selektivní fluoridovou metodou (Tesař et al., 2004).

První ionty, které byly v souvislosti s mlhou kvalifikovány, byly chloridy a sulfáty, které určil Houghton (1955). Určil i původ a přibližnou trajektorii chloridových částic z mořských výparů. Sulfáty označil za obvyklou kontinuálně se vyskytující součást atmosféry, jejichž nejčastější formou je kyselina sírová. Eldridge (1971) pak upozornil na významný podíl dalších znečišťujících látek v mlze. Weathers et al. (1995) určil hlavní tři ionty: NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} . Síranový anion jednoznačně dominoval pod dobovým vlivem doznívajícího silného průmyslového znečištění. V roce 2015 pak NO_3^- , NH_4^+ tvořily až dvě třetiny celkové iontové koncentrace (Degeffe et al., 2015). Lange et al. (2003) již stanovil (pro Krušné hory), že Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} v horizontálních srážkách dosahuje 6-7x vyšší koncentrace než ve vertikálních srážkách. Nejvyšší rozdíl byl detekován u F^- , jehož koncentrace byla vyšší dokonce 38x (Lange et al., 2003).

V Krkonoších tvoří hlavní trojici NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- (Godek et al., 2011). Dříve zde také převládala anion síranový, po odsíření průmyslových a energetických podniků v 90. letech se situace ale zlepšila a vedoucí roli převzal kation amonný. TIC poklesl až čtyřnásobně, přičemž byl vyšší vliv zaznamenán na návětrných stranách (Godek et al., 2011).

V Krušných horách byly v roce 2003 třemi nejvýznamnějšími ionty: NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- . Obsah dusičnanového anionu byl prokázán hlavně z antropogenních zdrojů (Lange et al., 2003).

Z měření na stanici Churáňov pro hydrologické roky 1994 – 2003 jasně plynou i desetinásobně vyšší maximální koncentrace přítomných sledovaných iontů než ve vertikálních srážkách, jak ukazuje tabulka 4.

Tab. 4 Porovnání koncentrací iontů v mlžné vodě a vertikálních srážkách (Tesař et al., 2004)

ionty	koncentrace v mlžné vodě [$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$]		koncentrace ve vertikálních srážkách (bulk) [$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$]	
	maximum	průměr	maximum	průměr
Na^+	19,27	0,40	1,36	0,15
K^+	17,69	0,53	4,31	0,19
NH_4^+	42,30	7,78	11,07	0,63
Ca^{2+}	22,21	1,00	9,80	0,32
Cl^-	13,28	1,06	2,84	0,33
NO_3^-	178,77	17,36	26,10	2,14
SO_4^{2-}	77,60	16,11	27,73	2,03

Mlžná voda vykazuje širší rozpětí hodnot a vyšší průměrnou koncentraci všech iontů. Nejvyšší maximální rozdíl průměrů byl naměřen u NH_4^+ . Největší rozdíl maxim vykazuje Na^+ , jehož obsah v mlžné vodě byl čtrnáctkrát vyšší, a NO_3^- , kterého bylo téměř sedmkrát více. U iontů K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , F^- , Cl^- byly v mlze naměřeny i nulové hodnoty (které v tabulce neuvádím), kdežto u srážkové vody vždy alespoň $0,01 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (Tesař et al., 2004).

Roční depozice jednotlivých iontů je však v tomto případě o mnoho významnější z vertikálních srážek, jelikož srážkové úhrny z mlhy (v mm) jsou přibližně 10x nižší. I přes jejich vyšší mineralizaci nedosahuje většina iontů s výjimkou NO_3^- a SO_4^{2-} ani 50% přírůdku na celkové depozici. Mlha se jako hlavní depoziční cesta uplatňuje jen u NH_4^+ (Tesař et al., 2004).

Churáňov můžeme v rámci ČR považovat za čistou stanici, jak se ukazuje i ve srovnání Churáňova a Milešovky (rok 2001), kde jsou všechny detekované ionty (kromě Ca^{2+}) více zastoupeny na Milešovce (Fišák et al., 2001). Trend pokračuje i v roce 2004. Nejvýraznější rozdíly v koncentracích představují ionty F^- , jejichž koncentrace je na Milešovce 4x vyšší; NH_4^+ 2,2x vyšší, Cl^- a K^+ 2x vyšší (Fišák, 2004). Některé ionty podléhají v průběhu mlžné epizody reakcím a mění se tak jejich koncentrace. Stejně koncentrace na Milešovce vykazovaly na začátku i na konci ionty H^+ , F^- , Cl^- , NO_3^- , Na^+ , Mg^{2+} a kov Cu. Tato situace však nemusí být směrodatná pro jiné podmínky (Fišák & Řezáčová, 2000).

Díky poměrně častým měřením na Milešovce a Churáňově přikládám tabulky časových trendů v obsazích jednotlivých iontů (a pH). Každá hora má jiná časová období podle zdrojů

nalezených v literatuře. Jedná se o průměrné hodnoty s výjimkou prvního období na Churáňově, kde průměrné hodnoty nebyly vytvořeny, a pro přesnost přikládám celé rozmezí hodnot.

Tab. 5 Hodnoty pH a koncentrací vybraných iontů na Churáňově ve vybraných letech (Eliáš et al., 1995; Fišák et al., 2002; Fišák, 2004)

ionty [mg·l ⁻¹]	1989-1992	1995	1999	2000
pH	2,94-7,04	3,7	4,8	4,2
Na ⁺	0,09-5,17	0,5	1,2	0,2
K ⁺	0,12-7,91	0,5	0,8	0,4
NH ₄ ⁺	0,1-50,8	17,4	10,5	6,2
Ca ²⁺	0,66-33,4	3,3	4,4	1,5
Mg ²⁺	0,06-2,86	0,3	0,4	0,2
F ⁻	0,02-0,7	0,2	0,9	0,3
Cl ⁻	0,65-10,3	3,3	2,3	0,7
NO ₃ ⁻	0,35-134	32,7	25,2	15,7
SO ₄ ²⁻	2,83-132	31,0	24,0	12,4

Tab. 6 Hodnoty pH a koncentrací vybraných iontů na Milešovce ve vybraných letech (Fišák, 2004; Fišák et al., 2009)

ionty [mg·l ⁻¹]	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2008
pH	4,6	4,6	4,5	4,8	4,6	4,4	4,4
Na ⁺	2,1	1,4	1,8	0,3	1,1	0,5	0,5
K ⁺	1,3	1,4	1,1	0,6	0,5	0,5	0,4
NH ₄ ⁺	20,5	17,5	17,6	13,6	14,5	11,7	9,9
Ca ²⁺	2,7	2,1	1,9	0,9	1,0	1,3	0,9
Mg ²⁺	0,7	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2
F ⁻	2,8	2,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
Cl ⁻	3,0	3,6	3,3	1,8	2,3	1,2	1,1
NO ₃ ⁻	32,5	33,0	37,7	27,5	33,3	21,7	16,7
SO ₄ ²⁻	36,3	30,9	31,2	19,6	19,5	19,8	17,9

U Milešovky je patrný pokles koncentrace u všech iontů. Nejvýrazněji nastal pro F⁻, jehož hodnota se snížila téměř 15x, nejmenší rozdíl vykazuje NO₃⁻. Pro obě hory je pak společný pokles hlavních tří iontů NH₄⁺, NO₃⁻ a SO₄²⁻.

Tabulka 7 srovnává pH a koncentrace vybraných iontů [$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$] ze 7 různých stanovišť v ČR. Měření probíhala v rozmezí 8 let, porovnatelná data z menšího časového rozmezí patrně neexistují.

Tab. 7 Hodnoty pH a koncentrací vybraných iontů na různých místech ČR (Fišák, 2004; Fišák et al. 2002; Lange et al., 2003; Skybová, 2006)

	Krušné hory 1997/1998	Churáňov 1999	Milešovka 1999	Lysá Hora 2003/2004	Kopisty 1999/2000	Praha- Libuš 1996/2000	Jablonec nad Nisou 1999/2000
pH	4,0	4,8	4,6	5,2	4,9	5,6	6,4
Na ⁺	1,6	1,2	2,1	0,9	5,7	2,0	2,2
K ⁺	0,7	0,8	1,3	0,7	3,2	3,1	4,3
NH ₄ ⁺	5,3	10,5	20,5	4,9	52,7	6,5	1,9
Ca ²⁺	1,6	4,4	2,7	4,1	16,4	38,3	11,7
Mg ²⁺	-	0,4	0,7	0,4	2,1	1,9	3,4
F ⁻	-	0,9	2,8	-	3,9	0,9	0,1
Cl ⁻	2,2	2,3	3,0	-	13,9	16,6	3,1
NO ₃ ⁻	14,5	25,2	32,5	-	99,6	48,0	8,1
SO ₄ ²⁻	12,1	24,0	36,3	-	192,9	70,5	8,1

S výjimkou Ca²⁺ jsou všechny měřené iontové koncentrace nejnižší na Lysé hoře, což ovšem může být způsobeno i časovým odstupem, stejně tak jako nejvyšší hodnota pH.

Iontové složení závisí i na velikosti kapek. Menší kapky (průměr menší než 11,5 – 17 μm) obsahují obvyklé ionty NH₄⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻. Ve velkých kapkách je pak dominantní ion NO₂⁻. Jsou zde zaznamenány výrazně vyšší koncentrace i Ca²⁺ a Mg²⁺. Větší kapky současně mívají výrazně zásaditější charakter (Skybová, 2007).

5.3.2 Organické látky v mlze

Mlha obsahuje i látky organické. Jejich výzkumy však zatím nedosahují takových rozměrů jako u anorganických látek. Rozpustné organické částice se označují jako WSOC – water soluble organic compounds. Jejich hlavním zdrojem je nedokonalé spalování. Většinou se vyskytují navázané na aerosoly a mlhu okyselují, jedná se totiž často o karboxylové kyseliny (Fuzzi et al., 2002). Reakce WSOC se pak odvíjí od funkčních skupin, aromatického nebo alifatického charakteru a míry rozvětvení (Fuzzi et al., 2002; Herckes et al., 2002). K celkovému organickému uhlíku též přispívají polysacharidy nebo bakterie a houbové spóry (Bauer et al., 2002).

Pro tvorbu mlhy a oblačnosti je podstatný rozpustný organický dusík – DON (dissolved organic nitrogen), který v některých oblastech může tvořit až 66% dusíku v oblacích (Weathers et

al., 2000). Dusík je zde ve formě aminokyselin nebo alkyl aminů, peptidů až proteinů (Anastasio & McGregor, 2001). Organické sloučeniny dusíku se do ovzduší často dostávají z dopravních emisí, ze zemědělství – používání nitrofenolů jako herbicidů nebo biodegradací organických hnojiv. Ač se používají k dosažení lepšího fitnessu rostlin, při koncentracích vyšších než $10 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ vykazují toxické účinky (Skybová, 2007).

5.3.3 Kovy v mlze

Zpravidla o několik řádů nižší, než je obsah anorganických iontů, je v mlze přítomnost kovů. Stanovují se oproti nim méně často, ale snáze a častěji než organické látky. V některých případech se určují i ionty kovových prvků (Fišák et al., 2009; Skybová, 2006). Kovy mohou být v mlžných kapkách v rozpuštěné i nerozpuštěné formě. Pokud se nachází v obou stavech, rozpuštěný bývá zastoupen o 1-4 řády více. Nejmenší rozdíl mezi koncentrací rozpustnou a nerozpustnou byl stanoven u železa (Fišák et al., 2009).

V ČR byly kovy v mlze sledovány na Šumavě (Churáňově) a na Milešovce. Pozornost byla zaměřena na koncentrace kovů: Mn, Zn, Fe, Al, As, Cd, Pb, Cu. Koncentrace kovů jsou zpravidla vyšší v mlze než ve vertikálních srážkách, jsou ale nižší než v námraze (Fišák et al., 2009; Tesař et al., 2004).

Tab. 8 Koncentrace kovů v mlžné vodě a vertikálních srážkách (Fišák et al., 2009; Tesař et al., 2004)

kov [$\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$]	koncentrace v mlžné vodě [$\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$]			koncentrace ve vertikálních srážkách (bulk) [$\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$]	
	Šumava 2004			Milešovka 2009	Šumava 2004
	min	max	průměr	průměr	průměr
Mn	0,20	530,00	22,00	2,78	7,66
Zn	10,00	814,00	98,00	71,59	20,97
Fe	50,00	900,00	90,00	31,57	24,59
Al	10,00	1220,00	100,00	26,21	33,17
Cd	0,04	33,20	0,56	-	0,21
Pb	0,50	525,00	12,30	0,00	1,56
Cu	0,20	91,00	6,45	0,15	46,99

S výjimkou mědi mají všechny kovy v roce 2004 průměrnou koncentraci vyšší v mlžné vodě. Její maximum bylo až 26x nižší než maximum hodnoty z vertikálních srážek (Tesař et al., 2004). V rámci mlhy byl v roce 2009 na Milešovce mlžný průměr naměřen až 42x nižší než v roce

2004 na Šumavě, což může být ale způsobené chybou v měření rozdílných výzkumných týmů (Fišák et al., 2009). Olovo, jehož mlžné maximum v roce 2004 dosáhlo hodnoty téměř 27x vyšší (Tesař et al., 2004), nebylo následně na Milešovce detekováno vůbec (Fišák et al., 2009).

Kovů se týká i následující kapitola o pevných částicích.

5.3.4 Pevné částice v mlze

Pevné částice se v atmosféře označují jako TSP (total suspended particles) – celkový počet suspendovaných částic prашného aerosolu. Jejich zdroje jsou přirozené (půdní a prachové částice, pylová zrna, bakterie atd.) i antropogenní (prach a spalování, oděry, zemědělská a průmyslová činnost atd.) a jsou organické i anorganické povahy. Dle velikosti se TSP člení na frakce PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀, kde indexové číslo vždy představuje maximální velikost průměru částic souboru v mikrometrech. Menší částice jsou respirabilní, tudíž pro člověka nebezpečnější. Pro ekosystémy představují riziko zejména látky, které se na prашný aerosol vážou, např. těžké kovy nebo organické látky (Hůnová & Janoušková, 2004). O nerozpustných částicích v mlze ale pojednává nemnoho prací, většinou spíše s důrazem na lidské zdraví. V českém prostředí byly částice zkoumány na Milešovce (Bartůňková et al., 2014).

V pevném stavu se vyskytují i částice, které se v mlžné vodě nachází obvykle rozpuštěné, jako např. Na, Cl a K. Některé prvky vykazují tendenci vyskytovat se pohromadě. P, Mg, S, Na a Ti často doprovází Al a Si. P, Mg, Mn a Cr doprovází Fe. Dle velikosti se v mlžné vodě nejméně vyskytují částice větší než 10 μm (nejhojněji Ca, S a Na) a menší než 1 μm (většina částic bohatých na Zn). 34% tvoří částice PM₁₀. PM_{2,5} tvoří 28%. V tabulce č. 9 uvádím zastoupení prvků, které byly přítomny ve více než 10% částic v souboru (Fišák et al., 2012).

Tab. 9 Zastoupení prvků v souboru pevných částic v mlze (Fišák et al., 2012)

Si	Al	Fe	K	Mg	Ca	P	S	Na	Ti
87%	77%	60%	50%	28%	24%	22%	21%	13%	12%

S obsahem prvků souvisí i tvar a povrch částice. Zn je nejčastějším prvkem v souboru sférických částic, které však tvořily jen 20% souboru. Na Milešovce je většina částic v mlze původu přírodního. Obsah Cl je závislý na směru větru (Bartůňková et al., 2014; Fišák et al. 2012).

5.4 Závislost výskytu a složení mlhy na geografických a geomorfologických parametrech

Vliv mlhy na ekosystémy je nejvýraznější v horách. Příspěvek vody z horizontálních srážek do celého srážkového úhrnu je nezanedbatelný od 800 m n. m. (Lange et al, 2003), V nižších nadmořských výškách není frekvence mlhy tak vysoká (Tolasz et al., 2007). Nebezpečí však hrozí

ve městech a jiných znečištěných oblastech, ve kterých může být depozice také významná díky velice vysokému obsahu polutantů (Brewer et al., 1983). Nejedná-li se o speciální terénní plochy, výskyt mlhy, její délka trvání i intenzita zpravidla vzrůstá s nadmořskou výškou (Tolasz et al., 2007). Od nadmořské výšky 700 m n. m. (sledováno v Krušných horách) podíl vody z mlhy exponenciálně stoupá, ve výškách nad 1000 m n. m. může dokonce převyšovat objem vody ze srážek vertikálních (Pahl, 1996). Např. na Šumavě je výrazný přísun vody z mlhy a jejich usazených forem znát již od 600 m n. m., jedná-li se o zalesněné plochy (Eliáš et al., 1995).

Mimo nadmořskou výšku hraje roli např. hřebenový fenomén. V Krušných horách bylo experimentálně zjištěno, že pokud se místo nachází ve vyšší nadmořské výšce, ale není na hřebeni, četnost výskytu mlhy je zde nižší než ve stejné nadmořské výšce, která hřebenem je (Zimmermann & Zimmermann, 2002). Pokud vznikne mlha v údolí, může se udržet déle, než mlha ve vyšší nadmořské výšce (Blaš et al., 2002).

Od 800-1000 m n. m. je výrazně zvýšena i atmosférická depozice (Lange et al., 2003; Lovett & Kinsman, 1990; Schüttauf 2010), jelikož mlha představuje příznivé podmínky pro kumulaci znečišťujících příměsí (Bendix, 2002; Eldridge, 1971; Johnstone & Moll, 1960). Na chemickém složení (zejména koncentraci) a depozici se současně uplatňuje i vliv konvexních či konkávních tvarů krajiny, vliv směru větru, typ stromových porostů, vzdálenosti od moře a od městských sídel či průmyslových oblastí a celkově možný transport částic (Fišák et al., 2004; Godek et al., 2011).

5.5 Závislost výskytu a složení mlhy na povětrnostních situacích

Pouhým chemickým rozborem není možné stanovit emisní zdroj částice (Bartůňková et al., 2014). Pro zjištění zdrojů jader kondenzace až znečištění v mlze se čím dál častěji využívá modelování pohybu znečišťujících částic podle pohybu vzduchových mas, kdy může být částice přenesena až tisíce kilometrů. Mlha je tedy lepším ukazatelem dálkového transportu než vertikální srážky (Beidewieden et al., 2005).

V českých podmínkách problematiku zkoumá hlavně Fišák, který sleduje i vnitrostátní přenos mezi jednotlivými měřicími stanicemi a stanovuje hlavní směry přenosu a změny koncentrací polutantů. Pro porovnání byly vzaty hodnoty z přenosu mezi Churáňovem (1118 m n. m.) a znečištěnější Milešovkou (837 m n. m.). Pokud proudění postupuje od severu nebo severozápadu, přináší na Churáňov množství polutantů, které v dané chvíli převyšuje množství polutantů v mlze na Milešovce o 20-80%. Vyšší je i vodivost. V opačném směru jsou koncentrace výrazně vyšší na Milešovce. K obohacení o znečišťující látky tedy dochází na industrializovaných lokalitách mezi těmito dvěma body (Fišák et al., 2001).

Síla vanutí větru má vliv na depozici. Čím silnější a přímější vítr, tím více částic se deponuje (Beidewieden et al., 2005), což platí především pro oblasti nad 1000 m n. m., pro něž jsou

charakteristické vysoké rychlosti větru (Eliáš et al., 1995). Návětrné strany lesů jsou deponovány 3-15x více ionty – množství záleží na členitosti lesa (Lovett et al., 1995).

Např. při porovnání Pradědu (1491 m n. m., Hrubý Jeseník) a Lysé hory (1323 m n. m., Moravskoslezské Beskydy), které podléhají stejnému převažujícímu proudění, byly zjištěny výrazně odlišné hodnoty. Lysá hora je deštěm zatížena mnohem více, protože se pohoří Moravskoslezských Beskyd zdvíhá v podstatě v údolí, kdežto Pradědu ve směru proudění předchází ještě Orlické hory a Králický Sněžník. Výskyt mlhy je ale hojnější na Pradědu, jelikož na jinak vlhké Lysé hoře je významný povětrnostní vliv, který mlhy rozfoukává (Tolasz & Židek, 1992, Tolasz et al., 2007).

Pro Krušné hory platí, že s ohledem na směr větru je zde v nejvyšším zastoupení jižní proudění. Vyšší procentu výskytu mlhy je pouze u směru severovýchodního (45%), který ovšem není příliš obvyklým (Daehne, 1999 in Zimmermann & Zimmermann, 2002).

5.6 Závislost výskytu a složení mlhy na čase

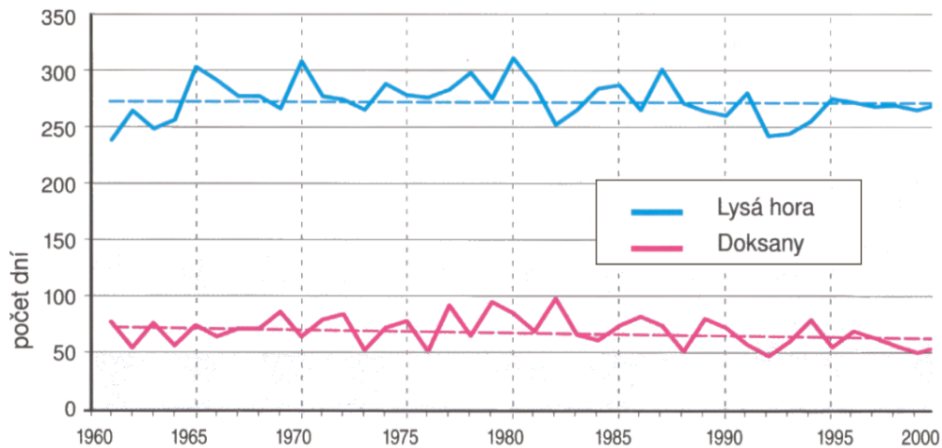
V čase hrají roli jak roční změny období, tak i menší časové úseky jako dni či týdny. V České republice se mlha vyskytuje po celý rok, v polohách nižších než 800 m n. m. je zvýšený výskyt v říjnu až lednu, kdy na každý měsíc připadá průměrně 10-11 dní s mlhou. V dubnu-srpnu je dní s mlhou naopak nejméně, průměrně 4-5 dní. Tyto počty jsou ovšem meziročně vysoce variabilní (Tolasz et al., 2007). Chladné měsíce se v mírných podnebných podmínkách vyznačují nárůstem mlhy nejen díky meteorologickým podmínkám, ale i zvýšenému znečištění v důsledku dosahování teplotního komfortu obyvatel topením. V porovnání s vertikálními srážkami je trend spíše opačný – maxima srážky dosahují v červnu, minima v únoru. Z novějších pozorování se ukazuje tendence k dalšímu snižování srážek v průběhu zimy a nárůstu v létě (Tolasz, 2013). Další lidské návyky mohou měnit spíše složení v urbanizovaných oblastech dle vzorce lidských aktivit. O víkendech může být denní koncentrace iontů dusíku až o 35% nižší oproti pracovním dnům díky nižšímu dopravnímu zatížení (Murphy et al., 2007).

Mlžné epizody také můžeme dělit podle jejich délky na dlouhé a krátké. Krátké mlžné epizody (pod 2 hodiny trvání) zpravidla vznikají díky zahalení mrakem při frontálnímu postupu (Fišák, 2007). Na Milešovce se vyskytují nejvíce v červnu. Stále však nepřesahují počet mlh dlouhých (více než 2 hodiny trvání), které zabírají 61,5% času s mlhou. Nejméně je krátkých epizod v listopadu, kdy dlouhé epizody zaujímají 92,8% čas u s mlhou. Celkově nejvíce epizod bylo zaznamenáno také v listopadu (804,5 hodiny) a nejméně (65,5 hodiny) v červnu (Fišák, 2007), jak dokazuje obr. 11.

Výskyt nebo intenzita mlhy se mění i v průběhu dne. V noci povrch půdy a vzduch nad ním ztrácí teplo více než ve dne, a proto je snazší přiblížit se nebo dosáhnout rosného bodu. Efekt je

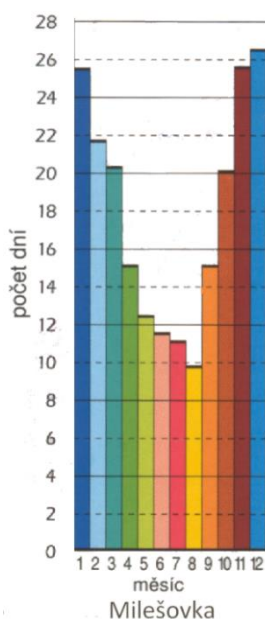
ještě vyšší, pokud setrvává dlouhodobá tlaková výše a obloha je bezoblačná (Eldridge, 1971).. Na formaci mlhy může mít vliv i její (ne)přítomnost v předchozím dni, zejména z důvodu setrvání možných stabilních podmínek pro tvorbu nové mlžné epizody (Maalick et al., 2016).

Obr. 10 zobrazuje denní chod mlhy ve víceletém průměru (1991-2000) ze dvou českých oblastí - Lysé hory (1324 m n. m.) zastupujících hornatou krajinu, a obce Doksany (156 m n. m.) nedaleko Litoměřic, která zastupuje naopak nížinu.

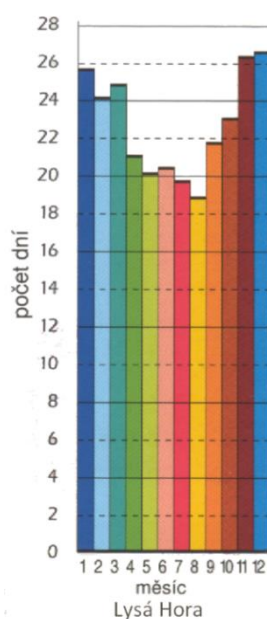


Obr. 10 Počet dní s mlhou v Doksanech a na Lysé hoře (Tolasz et al., 2007)

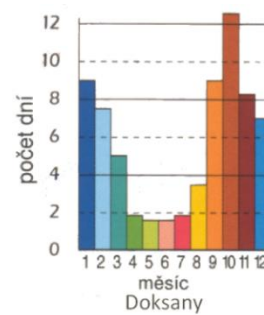
Pro lepší představu uvádím ještě diagramy počtů dní s mlhou v jednotlivých lokalitách (obr. 12 a 13). Frekvence výskytu mlhy se v průběhu delší datové řady snižuje. U městských oblastí je důsledkem efekt městského tepelného ostrova (MTO). Od roku 1990 se začala zvyšovat průměrná



Obr. 11 Počet dní s mlhou v jednotlivých měsících na hoře Milešovka (Tolasz et al., 2007)



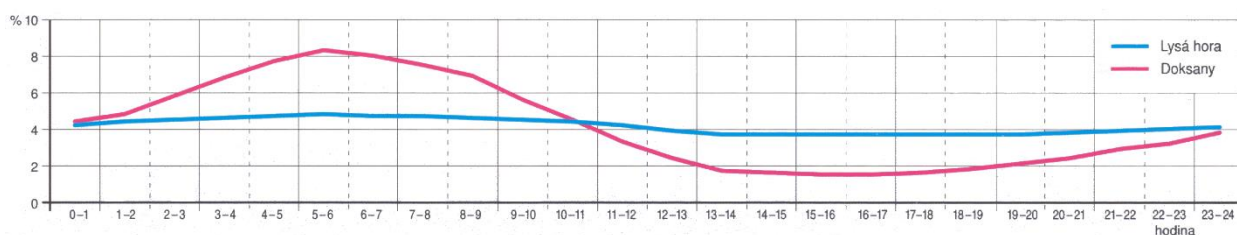
Obr. 12 Počet dní s mlhou v jednotlivých měsících na Lysé hoře (Tolasz et al., 2007)



Obr. 13 Počet dní s mlhou v jednotlivých měsících v Doksanech (Tolasz et al., 2007)

noční teplota, která již u zemského povrchu nepoklesá natolik, aby se přiblížila teplotě rosného bodu a začala kondenzace. Výška vhodná pro započítání kondenzace a tvorbu mlhy se tedy zvyšuje. Tento mechanismus nesouvisí jen s mlhou, má vliv i na výšku, ve které se nad městy formují mraky – také se zvyšuje (Williams et al, 2015).

Obr. 14 srovnává denní chod mlhy v Doksanech a na Lysé hoře. Obecně pro Českou republiku platí maximum: 5.-6. hodina, minimum: 15.-17. hodina. Patrný je opět rozdíl mezi horskou a nížinnou krajinou - výraznější denní chod je zaznamenán pro Doksany. Lysá hora vykazuje výraznější kontinuitu ve výskytu mlhy díky stabilně lepším podmínkám pro její tvorbu způsobeným nadmořskou výškou (Tolasz et al., 2007).



Obr. 14 Denní chod průměrné relativní četnosti výskytu mlhy v Doksanech a na Lysé hoře, 1991-2000 (Tolasz et al., 2007)

6 Mlhy v městech

6.1 Mlha

Na výskyt mlhy v městech má kromě popsaných geomorfologických parametrů největší vliv zejména uměle vytvořený nový ekosystém a fenomén městského tepelného ostrova - MTO (Chalupecký, 2005), který je definován jako oblast zvýšené teploty vzduchu v mezní a přízemní vrstvě atmosféry nad městem nebo nad průmyslovou aglomerací ve srovnání s venkovským okolím (Fišák & Tesař, 2014). Kromě vyšší teploty se v zastavěných oblastech odráží ještě rozdílné (zpravidla pomalejší) vanutí větru ulicemi oproti volným přírodním plochám v důsledku větší drsnosti povrchu, značné změny vlastností aktivního povrchu a rozdíl ve vlhkosti vzduchu (Bednář, 1985; Chalupecký, 2005). Právě nižší relativní vlhkost vzduchu je pravděpodobně nejvýznamnějším faktorem snižujícím četnost mlhy ve městech (Chalupecký, 2005). Dále se na režimu mlh podepisuje i změna klimatu a životního prostředí obecně. Na výskyt a složení působí i míra znečištění – čím více polutantů, tím více potenciálních kondenzačních jader (Knozová & Hora, 2010).

Při znečištění se uplatňuje i dálkový transport. Proto v ČR některé městské oblasti dosahují menších koncentrací polutantů než oblasti horské (např. Jablonec nad Nisou oproti Milešovce). Ve srovnání Prahy a Churáňova už jsou ale rozdíly v koncentracích výrazné, zejména pro ionty NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} a Ca^{2+} , jejichž hodnoty jsou v Praze téměř 3-16x vyšší (Fišák, 2004).

Režim mlhy se mění i uvnitř města a na jeho okrajích. Praha, jakožto největší MTO v ČR, vykazuje výrazně odlišné hodnoty ve výskytu a hlavně složení mlhy na různých stanovištích. Centrum Prahy vykazuje nižší hodnoty vlhkosti vzduchu, než jsou sledovány na přirozeně nejsušších místech ČR. Výjimka je zapříčiněna málo propustnými umělými povrchy městské zástavby, rychlým odtokem vody kanalizací a malou vertikální výměnou vzduchu s vysokým obsahem prachových částic (Chalupecký, 2005).

V průběhu desetiletí se v celé Praze výskyt mlhy snižuje. V 60. letech byl výskyt mlhy na okrajích Prahy takřka stejný jako v centru, jelikož byla celá oblast silně znečištěna, což vedlo kromě snížení počtu kondenzačních jader i k vyššímu radiačnímu ochlazování v horní vrstvě mlhy (Chalupecký, 2005; Maalick et al., 2016). Zlepšení kvality ovzduší se jako první projevilo v centru města. Praha se však stále rozrůstá i se svým MTO, který nyní pohltil i měřicí stanice dříve považované za okolí. Dalším faktorem ovlivňujícím mlhu je teplota, s jejímž zřetelným nárůstem výskyt mlhy klesá. Další výrazný pokles mlhy v centru není předpokládán, díky rozšiřování MTO se však s dalším poklesem počítá ve stále zalidněnějších okrajových částech (Chalupecký, 2005).

6.2 Smog

S mlhou v městech se pojí také pojem zimní (redukční) smog, který označuje viditelné znečištění atmosféry díky spojení s mlhou – odtud původ slova smog z anglického „smoke + fog“ (Hovorka in Braniš & Hůnová, 2009). Znečišťující částice nejčastěji pochází z nedokonalých spalovacích procesů a tvoří je TSP, SO₂, CO a NO₂. Kritérium smogové situace je však v ČR zakotveno ve vyhlášce 373/2009, v níž přítomnost mlhy není vůbec zohledněna, pojednává pouze o povolených hodnotách koncentrací vybraných látek. Četnost mlhy ve dnech s tímto významem smogové epizody totiž nepřekračuje ani 3% (Knozová & Hora, 2010).

B – Praktická část

1 Úvod

Ze sítě českých meteorologických stanic existuje značné množství dat o výskytu mlhy, které ovšem doposud nebylo zpracováno, jelikož se mlze kromě snížení dohlednosti nepřikládal větší význam. Z citované literatury posledních let je ale jasné, že se jedná o nesprávný přístup.

Cílem této studie je zjištění četnosti výskytu mlhy, případných trendů a její intenzity na dvou stanicích reprezentujících rozdílná prostředí - Churáňov (stanice horská) a Praha-Libuš (stanice městská). Na základě odborné (zejm. evropské) literatury byly stanoveny následující pracovní hypotézy:

1. Výskyt mlhy na obou studovaných stanicích se liší.
2. Četnost výskytu mlhy na obou stanicích klesá.
3. Na obou stanicích se snižuje intenzita mlhy.

2 Metodika

Popis lokalit:

1. Churáňov – (49°04'06" N, 13°36'47" E, 1122 m n. m.) meteorologická stanice zastupující relativně čisté ovzduší (v kontextu ČR) a nadmořskou výšku, v níž je příspěvek mlhy k celkovým srážkám a celkové depozici významný.

Začátek sledování: 1961 – záznamy pouze o dnech s mlhou

Od 1980 – záznamy přesných časových rozmezí jednotlivých mlžných epizod a jejich intenzity (ČHMÚ, Fišák et al., 2002)

2. Praha-Libuš – (50°00'26" N, 14°26'49" E, 304 m n. m.) meteorologická stanice zastupující místo s nižší nadmořskou výškou a přímým vlivem městského znečištění.

Začátek sledování: 1971 - zaznamenávání přesných časových rozmezí jednotlivých mlžných epizod a jejich intenzity (ČHMÚ, Fišák et al., 2002)

Z dat pocházejících ze stanice Churáňov již byla jedna studie ohledně výskytu mlhy a jejího chodu vytvořena, zahrnovala ale pouze roky 1976-1987 (Strnad et al., 1988).

Data byla získána z databáze ČHMÚ za celá měřená období obou stanic. Obsahovala rok, měsíc a den, ve kterém se vyskytoval den s mlhou, nebo mlžná epizoda, u níž bylo specifikováno přesné časové rozmezí mezi začátkem koncem; druh mlhy (mlha/zmrzlá mlha) a její intenzitu. Za den s mlhou je považován takový den, v němž se vyskytne alespoň jedna epizoda mlhy či zmrzlé

mlhy (Tolasz et al., 2007), nezáleží na její hustotě ani době setrvání, jediným kritériem je snížení dohlednosti pod 1 km (Zimmermann & Zimmermann, 2002).

Jelikož se práce zabývá pouze mlhou nezmrzlou, odstranila jsem nejprve ze souboru všechny údaje o mlze zmrzlé. Dále bylo třeba nakládat různým způsobem s daty o dnech s mlhou a daty s mlžnými epizodami, jelikož v mlžném dni se často vyskytovalo více časově oddělených epizod. Na druhou stranu také jedna epizoda může přetrvávat více dní, v souboru však byla maximální délka mlžné epizody vždy uvedena jako časový údaj 23 hod 59 min. Ze sumarizace vynechávám rok 2016, jelikož databáze obsahuje jen část roku, navíc u každé stanice jinak dlouhou. Pokud tedy uvádím „za celé měřené období“, je tím míněna doba do konce roku 2015.

Ke zpracování naměřených hodnot (výpočty, grafická a tabulková zobrazení) bylo využito základních funkcí programu MS Excel.

Pro hodnocení síly neboli intenzity mlhy byla použita tabulka určená pro pozorovatele meteorologických stanic.

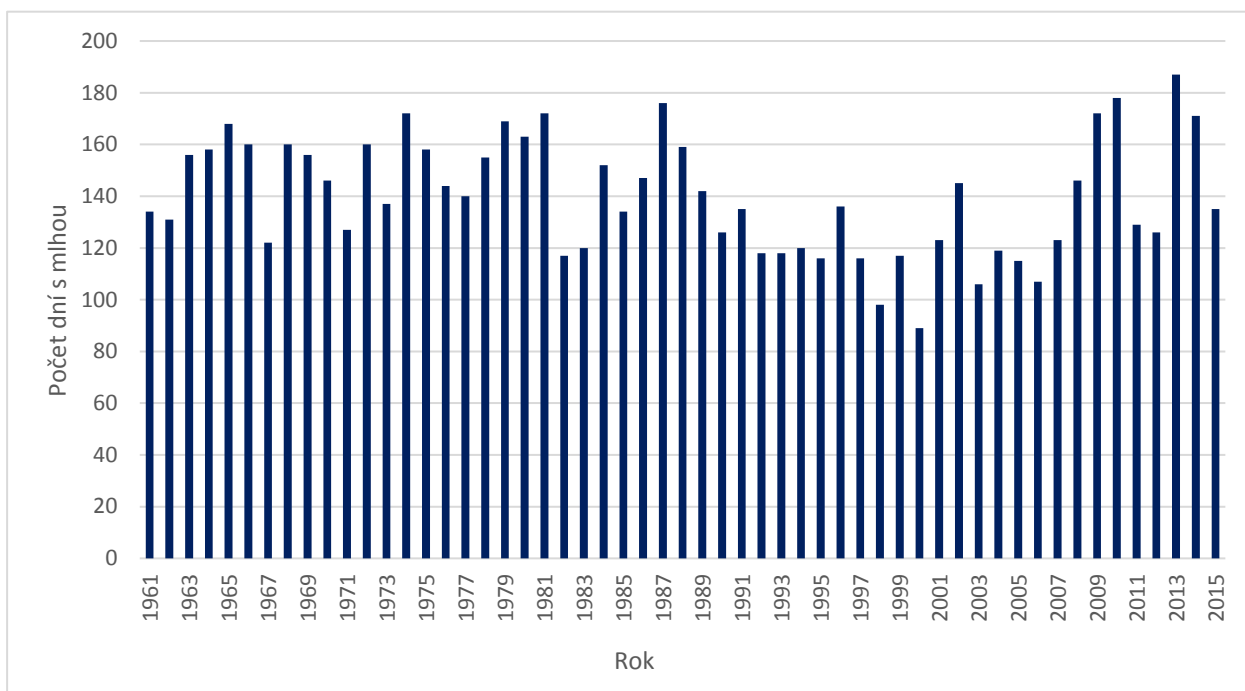
Tab. 10 Hodnocení stupňů intenzity (síly) mlhy podle dohlednosti (Židek & Lipina, 2003)

0	slabá	Dohlednost 500 m a více, ale méně než 1000 m.
1	mírná	Dohlednost 200 m a více, ale méně než 500 m.
2	silná	Dohlednost 50 m a více, ale méně než 200 m.
3	velmi silná	Dohlednost méně než 50 m.

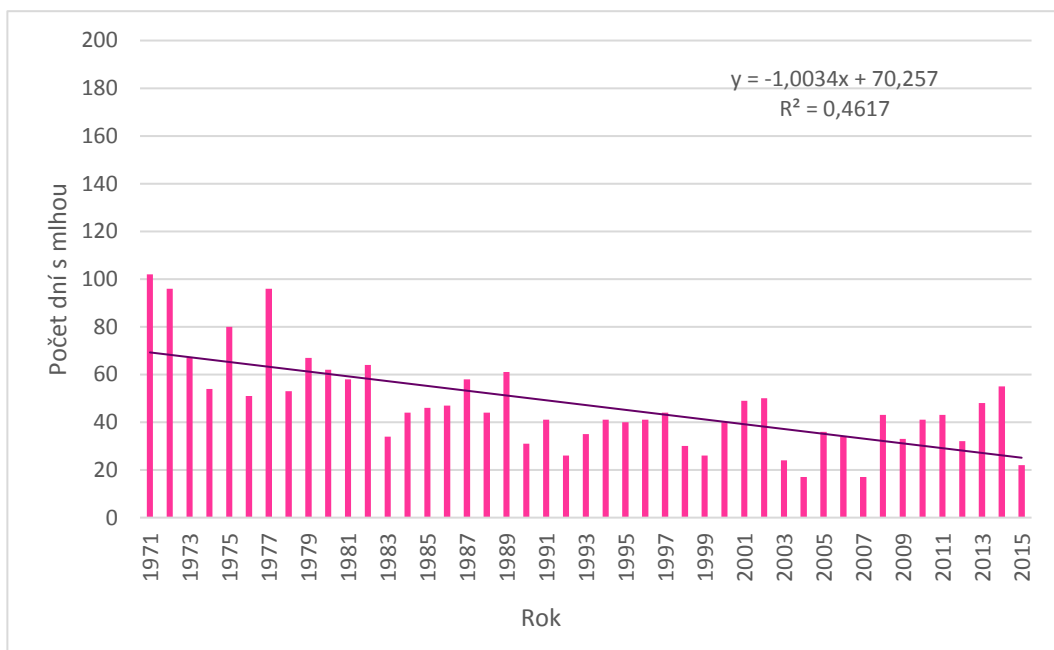
Data ze stanic však kromě celočíselných hodnot intenzity obsahují i intenzity udávané číselným intervalem, jehož rozmezí může činit i celou škálu od nuly do tří. Pro tuto skutečnost se mi nepodařilo nalézt vysvětlení, domnívám se, že byly intervalové hodnoty zavedeny pro případy, v nichž nebylo možno jednoznačně určit dohlednost, nebo se dohlednost v průběhu epizody měnila. Pro grafické zobrazení intenzit v jednotlivých časových úsecích v kapitole „Výsledky“ byly hodnoty z těchto intervalů vyděleny příslušným počtem zastoupených členů v intervalu a tato získaná hodnota byla připočtena ke každé ze zastoupených celočíselných intenzit v intervalu. Od roku 2000 se intenzita daná rozmezím již příliš nevyskytuje (domnívám se, že díky změně pozorovací strategie). Intenzitu o rozpětí mezi stejnými hodnotami ale v převráceném pořadí jsem započítala do stejné kategorie (Např. intenzita 0-1 společně s 1-0).

3 Výsledky

Obrázky č. 15 a 16 ukazují na každé ze stanic nejzákladnější parametr - počet dní s mlhou.



Obr. 15 Počet dní s mlhou v jednotlivých letech na stanici Churáňov



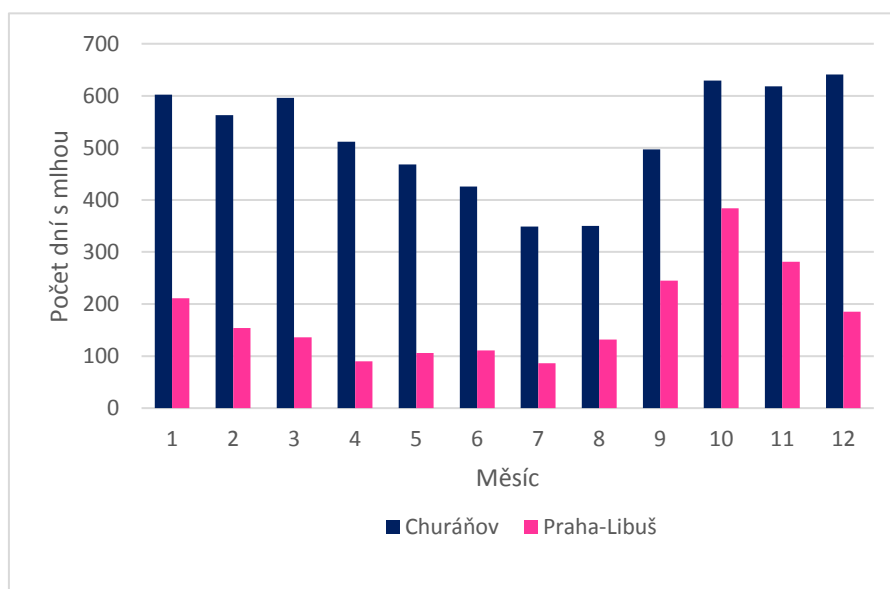
Obr. 16 Počet dní s mlhou v jednotlivých letech na stanici Praha-Libuš

Na Churáňově byla nejvyšší četnost mlhy zaznamenána v roce 2013 (187 dní, tedy 51,2 % dní v roce). Nejméně dnů s mlhou bylo zaznamenáno v roce 2000 (89 dní v roce). Z Obr. 15 není patrný jasný vzestupný či sestupný dlouhodobý trend.

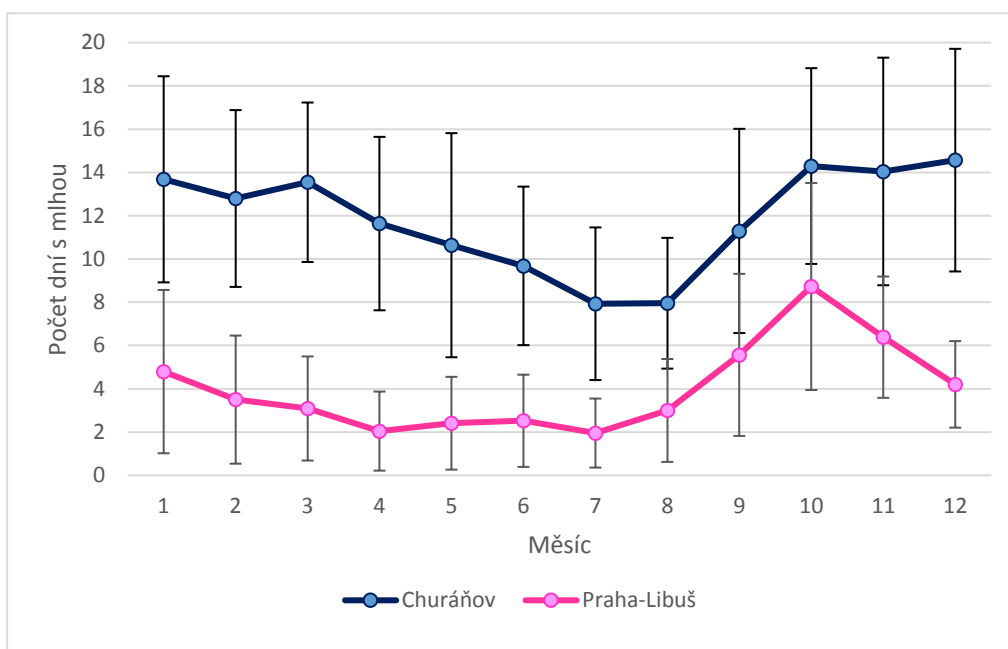
Z obr. 16 pro městskou stanici Praha-Libuš dlouhodobý trend patrný je. Průměrný počet dní s mlhou za celé měřené období zde činí 47 dní v roce. Maximálního počtu dnů s mlhou bylo dosaženo hned v prvním roce měření – v roce 1971 (102 dní, tedy 27,9 % roku). Minimum dní s mlhou bylo zaznamenáno shodně v letech 2004 a 2007 (17 dnů). Hodnoty se však v jednotlivých letech na obou stanicích značně liší.

Rozdíl v počtu dní s mlhou mezi oběma stanicemi je za zaznamenané období průměrně 91 dní. V posledních deseti letech jsou hodnoty na Churáňově dvoj- až šestinásobně vyšší než v Praze-Libuši. Nejnižší rozdíl v počtech dnů s mlhou vykazuje rok 1971, kdy bylo na Churáňově zaznamenáno pouze o 25 dní s mlhou více než v Praze-Libuši (celkový počet dní s mlhou v roce 1971: Churáňov – 127, Praha-Libuš – 102), jedná se současně o rok s nejvyšším počtem mlžných dní v Praze-Libuši. Nejvyšší rozdíl nastal v roce 2009 a 2013, kdy bylo na Churáňově zaznamenáno v obou případech o 139 dní s mlhou více (celkový počet dní s mlhou v roce 2009: Churáňov – 172, Praha-Libuš – 33; v roce 2013: Churáňov – 187, Praha-Libuš – 47). Rok 2013 byl na Churáňově celkově nejbohatším na počet dní s mlhou.

Obrázky č. 17 a 18 se týkají počtů dní s mlhou v jednotlivých měsících. Obr. 17 je sumou všech zaznamenaných dní s mlhou v jednotlivých měsících od roku 1971 a poskytuje sumy pro obě stanice. Obr. 17 pak uvádí průměrné hodnoty z celých měřených období každé stanice: Churáňov 1961-2015, Praha-Libuš 1971-2015.



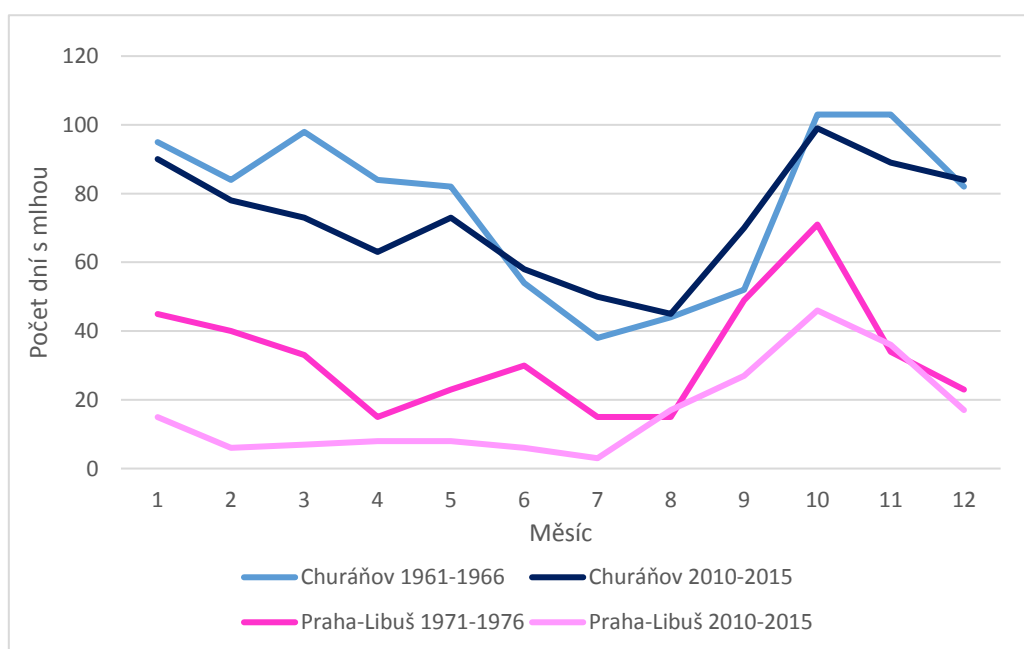
Obr. 17 Roční chod mlhy na stanicích Churáňov a Praha-Libuš (1971-2015)



Obr. 18 Roční chod mlhy (průměrný) v jednotlivých měsících na stanici Churáňov a Praha-Libuš (1971-2015)

Z obr. 17 a 18 je patrný roční chod s nižšími hodnotami v letních měsících a vrcholem v říjnu pro obě stanice. V Praze-Libuši dochází k poklesu počtů dní s mlhou již v listopadu, na Churáňově zřetelně začíná až v dubnu. O nejvyšší počet dní s mlhou se zde dělí říjen a prosinec. U obou stanic je pak měsícem s nejnižším počtem dní s mlhou červenec.

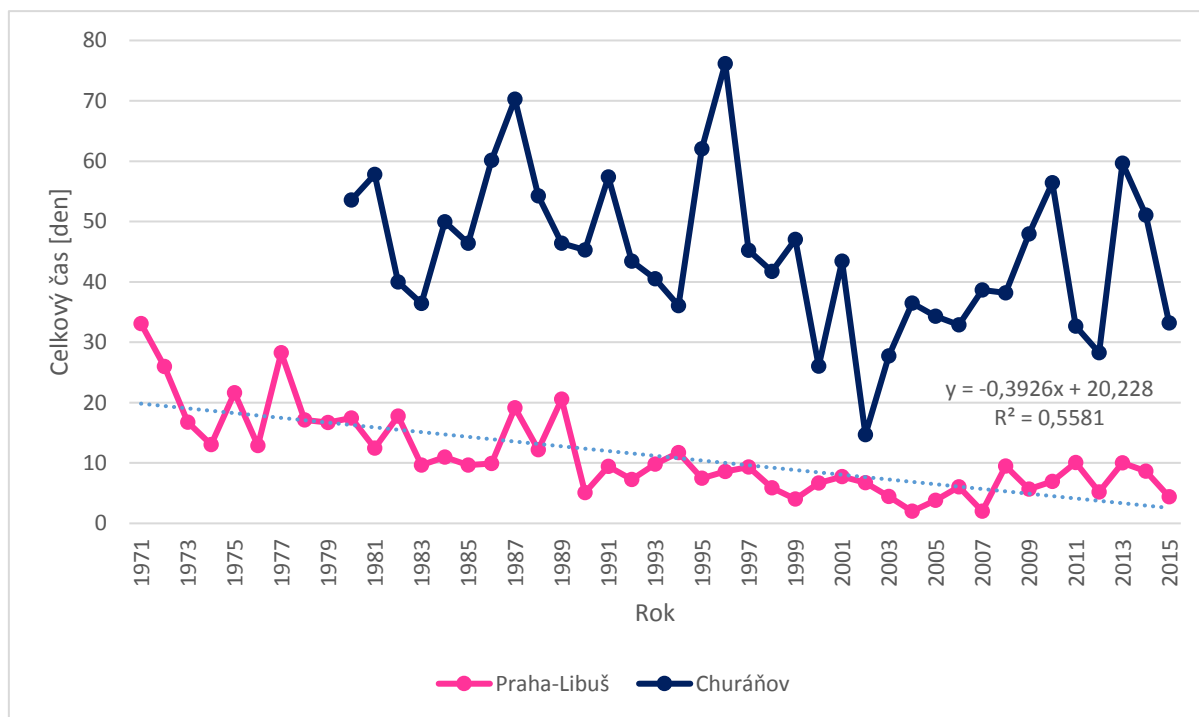
Díky výrazným směrodatným odchylkám je zřejmé, že se chod mlhy každý rok liší. Obr. 19 proto srovnává hodnoty pro obě stanice za prvních a posledních 6 let měření.



Obr. 19 Roční chody mlhy v prvních a posledních šesti letech měření na stanicích Churáňov a Praha-Libuš

Na Churáňově došlo ke snížení počtu dní s mlhou v jarních měsících. Navíc prosinec v obou obdobích vykazoval nižší hodnoty než za celou dobu. V Praze-Libuši je patrný spíše celkový pokles dní s mlhou s výjimkou srpna a listopadu.

Další možností časové kvantifikace mlhy je její celková doba výskytu získaná součtem jednotlivých epizod. Srovnání celkového ročního času s mlhou je zobrazeno na obr. 20, který uvádí pro obě stanice data a trendy z období: Churáňov 1980-2015, Praha-Libuš 1971-2015.



Obr. 20 Celkový čas trvání mlhy v jednotlivých letech na stanicích Churáňov a Praha-Libuš

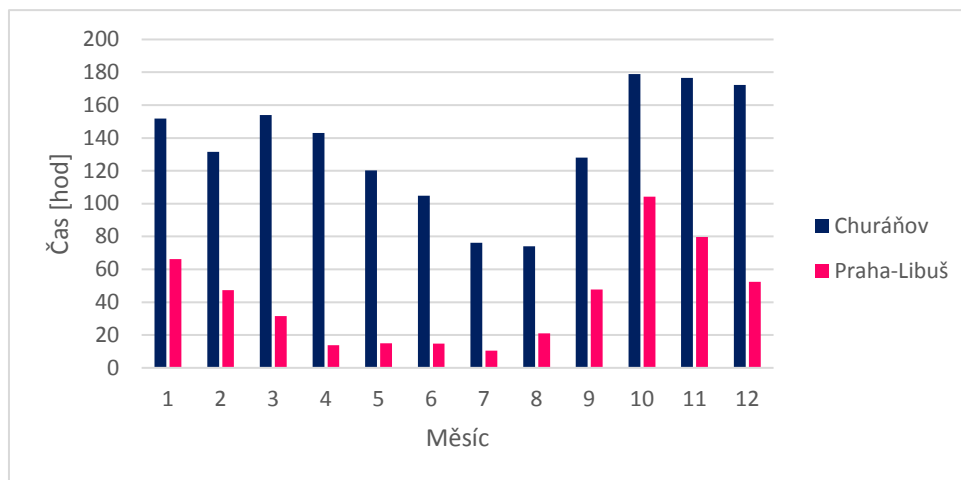
Pro Prahu-Libuš je patrný sestupný trend stejně jako v počtech dní s mlhou. Churáňov vykazuje ještě rozkolísanější hodnoty. K některým nízkým extrémům (2002) taky přispěl výpadek měření celkového času.

Tab. 11 pak spojuje data z obou stanic za prvních a posledních šest let měření (podobně jako bylo užito pro počty dní s mlhou). Pro Prahu-Libuš je pokles mlžného času zřetelný.

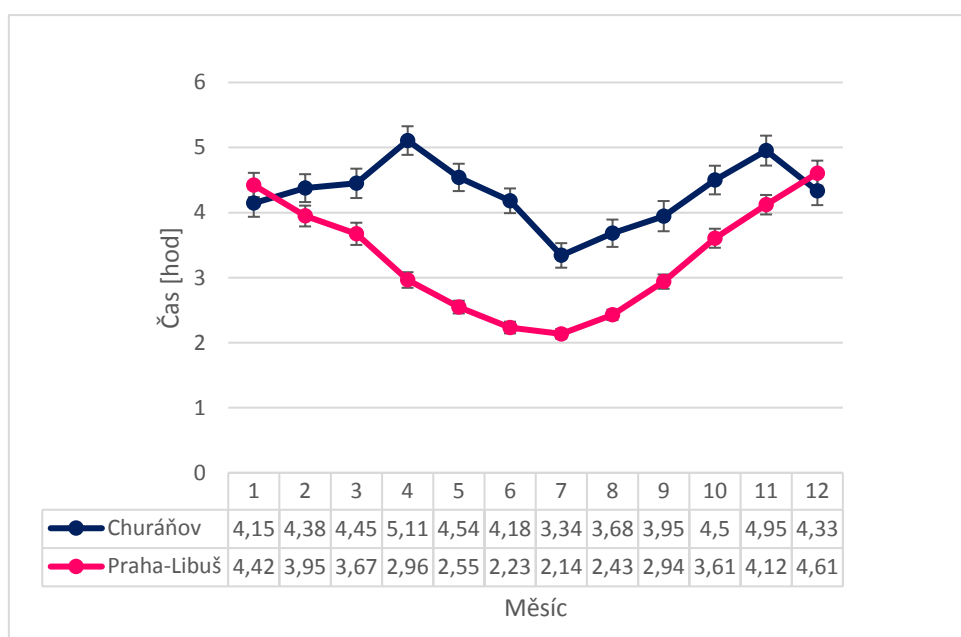
Tab. 11 Celkový počet mlžného času na stanicích Churáňov a Praha-Libuš.

	1971-1976	1980-1985	2010-2015
Churáňov	neměřeno	284 dní	261 dní
Praha-Libuš	123 dní	78 dní	45 dní

Měsíční trendy se také částečně liší od počtů dní s mlhou. V obrázcích č. 21 a 22 uvádím celkový mlžný čas a průměrné doby trvání mlžné epizody v jednotlivých měsících pro obě stanice za celá hodnocená období.



Obr. 21 Celkový mlžný čas v jednotlivých měsících na stanici Churáňov (1980-2015) a Praha-Libuš (1971-2015)



Obr. 22 Průměrná délka mlžné epizody v jednotlivých měsících na stanici Churáňov (1980-2015) a Praha-Libuš (1971-2015)

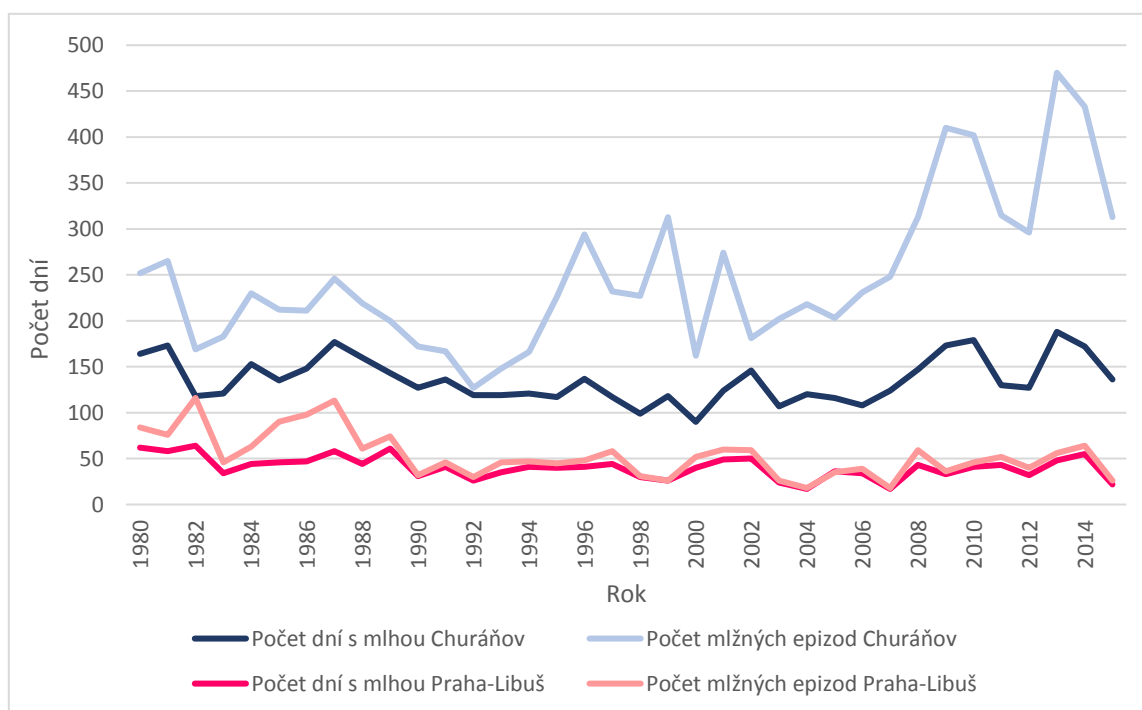
Dalším faktorem je počet jednotlivých epizod v jednotlivých dnech s mlhou a délka jejich trvání. Délka trvání a tím pádem i určování konkrétních epizod v jednotlivých dnech se na stanici Churáňov měří od roku 1980, v Praze-Libuši od samého počátku měření od r. 1971 s částečným výpadkem v roce 2002. Obr. 22 graficky znázorňuje průměrnou délku mlžných epizod za uvedená časová období a tab. 12 srovnává hodnoty počtu mlžných epizod v prvních a posledních šesti letech měření, na Libuši ještě navíc v prvních letech měření Churáňova pro lepší srovnání výsledků.

Tab. 12 Porovnání počtu mlžných epizod na stanicích Praha-Libuš a Churáňov ve vybraných šestiletých obdobích

měsíc	Praha-Libuš			Churáňov	
	1971-76	1980-85	2010-15	1980-85	2010-15
1	126	65	25	116	276
2	127	22	6	122	226
3	71	32	10	134	194
4	30	22	10	102	138
5	51	17	10	127	174
6	71	9	9	75	137
7	30	18	6	84	129
8	47	34	22	80	114
9	118	60	36	74	160
10	198	67	70	123	254
11	88	94	53	142	215
12	72	35	27	118	212

Z tabulky 12 je zřejmé, že na Churáňově počet mlžných epizod značně stoupá, v Praze-Libuši je patrný spíše pokles a to při porovnání let 1971-1976 a 2010-2015, kde pokles dosahuje až k jedné jeden a dvacetině. Oproti letům 1980-1985 poklesl poslední pětiletý úsek jen 2-3x.

Na základě tabulky je v obr. 23 porovnán počet dní s mlhou a počet mlžných epizod. Pokud se v jednom mlžném dni nachází více mlžných epizod, svědčí to jejich kratší délce. Zatímco v Praze-Libuši se od roku 2002 počet mlžných dní téměř shoduje s počtem mlžných epizod, na Churáňově dochází k přesně opačnému trendu.



Obr. 23 Počet dní s mlhou ku počtu mlžných epizod na stanicích Churáňov a Praha-Libuš (1980-2015)

Další veličinou je intenzita mlhy. Sumy intenzit za celá sledovaná období na Churáňově a v Praze-Libuši jsou shrnuta v tabulce č. 13 a 14. Intenzita též odráží charakter stanoviště a u horského stanoviště je značně vyšší.

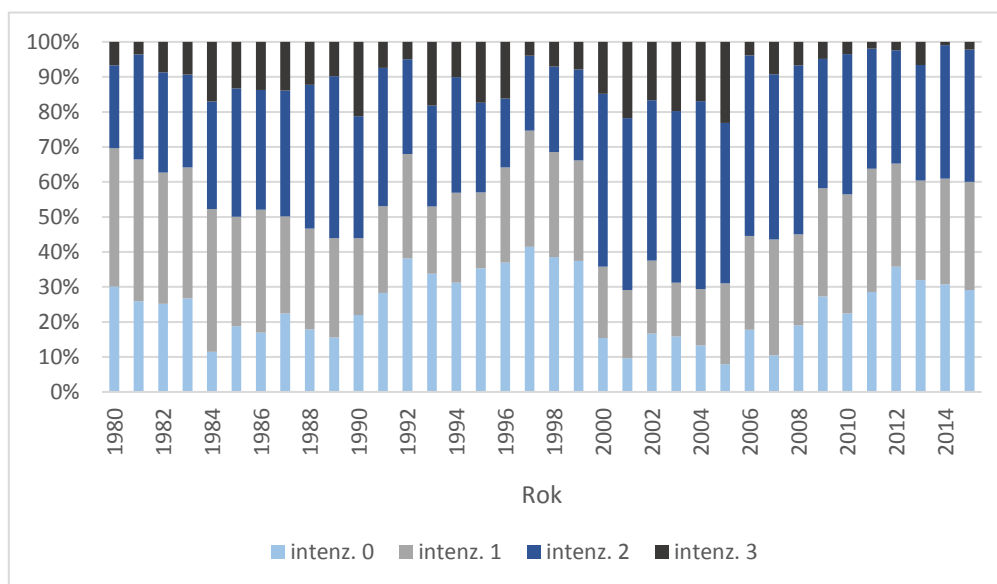
Tab. 13 Zastoupení jednotlivých stupňů intenzit mlhy na stanici Churáňov (1980-2015)

rok	0	1	2	3	0-1/1-0	0-2/2-0	0-3/3-0	1-2/2-1	1-3/3-1	2-3/3-2
1980	31	40	15	2	38	56	22	20	12	10
1981	26	34	23	0	38	57	17	55	8	5
1982	17	17	15	4	34	13	16	36	8	8
1983	26	30	17	5	23	18	13	24	8	11
1984	12	58	33	23	12	16	10	31	13	17
1985	18	24	40	18	18	28	9	33	9	8
1986	15	39	38	19	17	32	4	26	3	15
1987	25	22	47	21	25	42	12	27	7	15
1988	16	22	51	16	18	31	11	32	4	12
1989	9	20	58	12	16	40	3	26	4	11
1990	11	8	28	20	12	41	27	3	4	16
1991	13	3	31	3	11	65	28	8	1	4
1992	13	1	5	0	15	66	24	2	1	0
1993	25	3	25	21	16	33	21	1	1	0
1994	24	15	32	12	10	53	18	0	0	0
1995	38	7	23	22	14	53	69	0	0	0
1996	46	17	12	26	36	72	83	0	0	2
1997	19	0	3	0	62	112	32	0	0	2
1998	22	2	3	0	27	108	64	1	0	0
1999	48	21	35	8	45	87	66	0	0	0
2000	25	33	80	24	0	0	0	0	0	0
2001	26	53	132	58	0	0	0	0	0	2
2002	12	15	33	12	0	0	0	0	0	0
2003	32	31	99	40	0	0	0	0	0	0
2004	29	35	117	37	0	0	0	0	0	0
2005	16	47	93	47	0	0	0	0	0	0
2006	41	62	119	9	0	0	0	0	0	0
2007	26	82	117	23	0	0	0	0	0	0
2008	59	81	151	21	1	0	0	0	0	0
2009	111	126	149	18	1	1	0	0	0	4
2010	89	136	160	13	2	0	0	0	0	2
2011	90	111	108	6	0	0	0	0	0	0
2012	106	87	96	7	0	0	0	0	0	0
2013	150	134	155	31	0	0	0	0	0	0
2014	132	130	165	4	2	0	0	0	0	0
2015	91	97	118	7	0	0	0	0	0	0

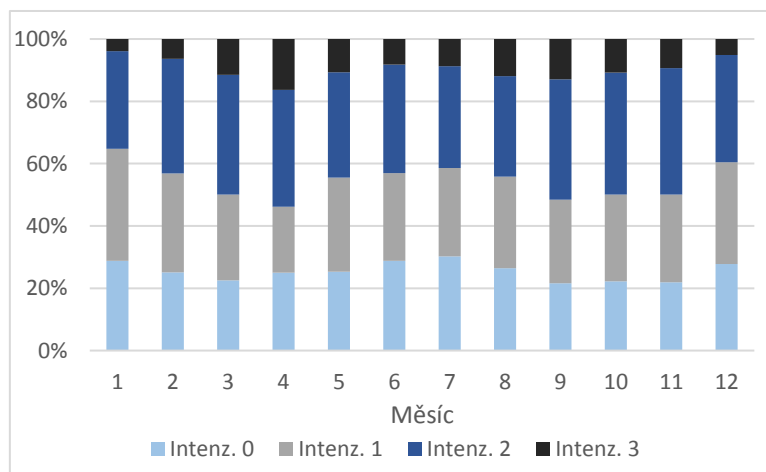
Tab. 14 Zastoupení jednotlivých stupňů intenzit mlhy na stanici Praha-Libuš (1971-2015)

rok	0	1	2	3	0-1/1-0	0-2/2-0	0-3/3-0	1-2/2-1	1-3/3-1	2-3/3-2
1971	99	59	45	2	1	0	0	0	0	0
1972	124	79	38	0	0	0	0	0	0	0
1973	73	53	26	0	2	2	0	0	0	0
1974	68	54	34	0	2	0	0	1	0	0
1975	85	46	33	3	3	4	2	0	0	0
1976	47	12	18	0	3	3	0	3	0	0
1977	88	45	32	2	3	13	0	1	0	0
1978	62	40	20	2	1	3	0	1	0	0
1979	73	50	25	1	0	0	0	1	0	0
1980	52	23	6	0	1	0	0	1	0	0
1981	41	16	7	1	0	9	0	0	0	0
1982	60	27	21	4	1	1	1	1	0	0
1983	23	12	7	0	0	3	0	1	0	0
1984	23	20	9	0	2	7	0	0	0	0
1985	40	30	17	0	0	0	0	1	0	0
1986	40	36	20	2	0	0	0	0	0	0
1987	50	23	26	1	4	5	0	2	0	0
1988	34	8	9	1	6	2	0	1	0	0
1989	20	7	4	5	13	16	0	7	0	0
1990	13	2	4	1	3	4	0	4	0	1
1991	13	9	14	0	4	4	0	2	0	0
1992	9	3	8	2	0	4	0	3	0	0
1993	17	9	20	0	0	0	0	0	0	0
1994	6	2	37	1	0	0	0	0	0	0
1995	12	11	20	1	0	0	0	0	0	0
1996	14	8	20	4	0	0	0	0	0	0
1997	24	8	23	0	0	0	0	0	0	0
1998	6	4	19	1	0	0	0	0	0	0
1999	8	5	5	4	0	3	0	1	0	0
2000	13	5	8	0	3	11	4	7	0	0
2001	10	6	7	1	13	19	1	2	1	0
2002	12	4	9	1	11	15	1	4	0	1
2003	3	1	9	1	4	6	1	1	0	0
2004	6	8	4	0	0	0	0	0	0	0
2005	12	4	16	3	0	0	0	0	0	0
2006	13	6	20	0	0	0	0	0	0	0
2007	6	3	8	1	0	0	0	0	0	0
2008	8	8	34	1	0	5	0	0	0	3
2009	19	6	6	2	0	3	0	0	0	0
2010	16	14	14	0	0	2	0	0	0	0
2011	13	11	21	5	0	0	0	2	0	0
2012	15	9	16	0	0	0	0	0	0	0
2013	16	10	25	3	2	0	0	0	0	0
2014	26	13	22	2	0	1	0	0	0	0
2015	4	2	15	3	0	2	0	0	0	0

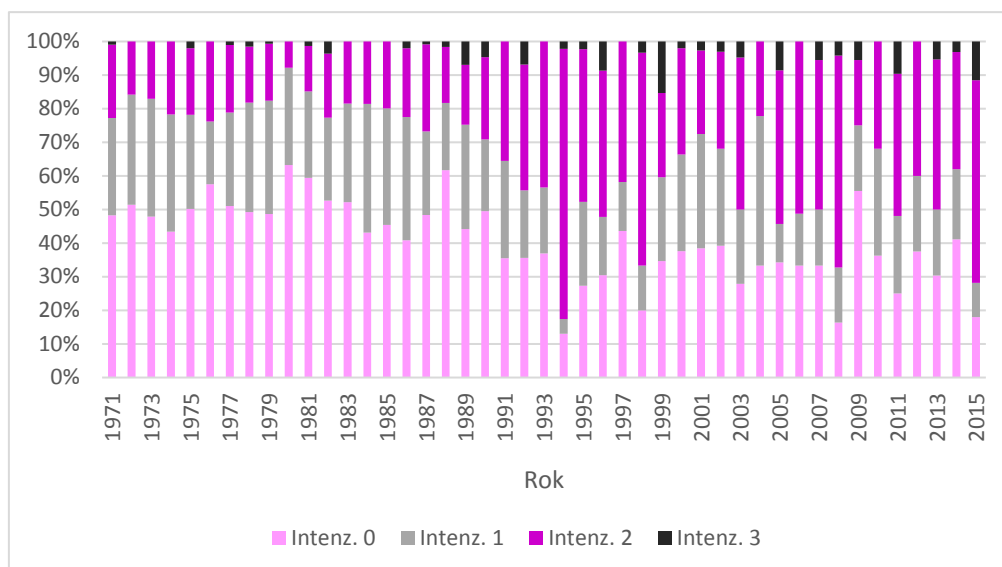
Hodnoty z tabulek jsem zařadila do 4 intenzitních kategorií (0-3) a pro každou stanici vytvořila poměry intenzit v jednotlivých letech a následně za celou sledovanou dobu v měsících (obr. 24-27). V Praze-Libuši je na rozdíl od Churáňova ve většině případů nejvyšší zastoupení nulové intenzity. Na Churáňově i v Praze-Libuši je mírně patrné zvyšování mlžných intenzit v měsících s vyšším výskytem mlhy. Dlouhodobý trend se ale jasně nedá určit ani na jednom stanovišti, což může být též způsobenou výše zmíněnou změnou monitorovací strategie.



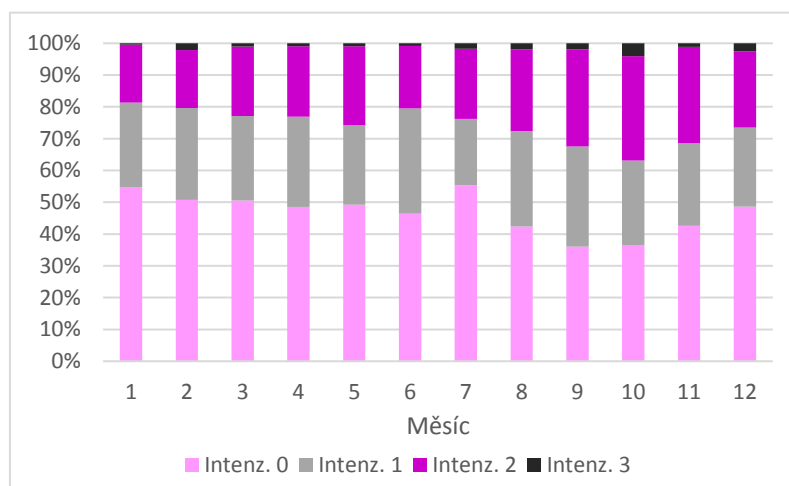
Obr. 24 Poměrné zastoupení čtyř stupňů intenzity mlhy na stanici Churáňov (1980-2015)



Obr. 25 Poměrného zastoupení čtyř stupňů intenzity mlhy v jednotlivých měsících na stanici Churáňov (1980-2015)



Obr. 26 Poměrné zastoupení čtyř stupňů intenzity mlhy na stanici Praha-Libuš (1971-2015)



Obr. 27 Poměrné zastoupení čtyř stupňů intenzity mlhy v jednotlivých měsících na stanici Praha-Libuš (1971-2015)

Závěr

Mlha se v České republice vyskytuje s různou četností, po různě dlouhou dobu a v různých intenzitách v závislosti na roční době, denní době, atmosférickém tlaku a pohybu front, nadmořské výšce, míře znečištění a dalších méně významných faktorech. Složení mlhy je též časově a územně variabilní. Nejvyšší koncentraci má anion NO_3^- a kation NH_4^+ . Obsah většiny anorganických iontů se snížil zejména v industrializovaných oblastech., největší pokles byl zaznamenán u SO_4^{2-} .

Potvrzení hypotéz:

1. Výskyt mlhy na obou studovaných stanicích se liší.

Hypotézu potvrzují obr. 15-22, ze kterých je patrný rozdílný meziroční chod a o něco méně rozdílný roční chod. Rozdíly jsou patrně způsobeny různou nadmořskou výškou a mírou znečištění.

2. Četnost výskytu mlhy na obou stanicích meziročně klesá.

Hypotéza platí pouze pro stanici Praha-Libuš (obr. 16). Ani zde však není v současné době pokles jednoznačný. Nejvýraznější byl mezi lety 1971-1983.

3. Na obou stanicích se meziročně snižuje intenzita mlhy.

Jak plyne z obr. 24 a 26, intenzita mlhy se ani na jedné ze stanic nesnižuje. Hodnoty jsou meziročně poměrně variabilní, v Praze-Libuši jsou vyrovnanější a v posledních dvaceti letech spíše vzrůstá četnost mlhy s nejvyšší (3) intenzitou.

Data o mlze nejsou dostupná pro území celé České republiky, různé stanice zaznamenávají různé parametry a složení se zkoumá spíše pro účely konkrétních studií. Pro lepší zmapování této problematiky by bylo zapotřebí sjednotit monitorovací strategie a rozšířit jejich síť.

Seznam použité literatury

- Anastasio, C., McGregor, K.G. (2001): Chemistry of fog waters in California's Central Valley: 1. In situ photoformation of hydroxyl radical and singlet molecular oxygen. *Atmospheric Environment* 35 (2001) 5629–5643
- Bartůňková, K., Fišák, J., Stoyanova, V., 2014: Nerozpustné částice v mlžné vodě na Milešovce. *Meteorologické zprávy*, roč. 66, 73-77
- Bauer, H., Kasper-Giebel, A., Löflund, M., Geibl, H., Hitzenbrger, R., Zibuschka, F., Puxbaum, H., 2002: The contribution of bacteria and fungal spores to the organic carbon content of cloudwater, precipitation and aerosols. *Atmospheric Research* 64, 109-119
- Bednář, J., (Portál, s.r.o., 2003): Meteorologie – Úvod do studia dějů v zemské atmosféře
- Bednář, J., (UK, 1985): Vybrané kapitoly z meteorologie
- Bednář, J., Zikmunda, O. (Academia, 1984): Fyzika mezní vrstvy atmosféry
- Beidewieden, E., Wrzesinsky, T., Klemm O., 2005: Chemical characterization of fog and rainwater collected at the eastern Andes cordillera. *Hydrology and Earthsystem Sciences* 9, 185-191
- Bendix, J., 2002: A satellite-based climatology of fog and low-level stratus in Germany and adjacent areas. *Atmospheric Research* 64, 3-18
- Błaś, M., Sobik, M., Polkowska, Z., Cichała-Kamrowska, K., Namiesnik, J., 2012: Water and chemical properties of hydrometeors over central european mountains. *Pure and Applied Geophysics*, 169, 1067-1081
- Błaś, M., Sobik, M., Quiel, F., Netzel, P. 2002: Temporal and spatial variations of fog in the Western Sudety Mts., Poland. *Atmospheric Research* 64, 19-28
- Braniš, M., Hůnová, I. (eds.) (Karolinum, 2009): Atmosféra a klima – Aktuální otázky ochrany ovzduší
- Brewer, R.L., Gordon, R.J., Shepard, L.S., Ellis, E.C., 1983: Chemistry of mist and fog from the Los Angeles urban area. *Atmospheric Environment*, Vol. 17, 2267-2270
- ČHMÚ, 2016 Dostupné na: <http://portal.chmi.cz/>
- Degefié, D.T., El-Madany, T.S., Held, M., Hejkal, J., Hammer, E., Dupont, J.C., Haeffelin, M., Fleischer, E., Klemm, O. (2015): Fog chemical composition and its feedback to fog water fluxes, water vapor fluxes, and microphysical evolution of two events near Paris. *Atmospheric Research* 164-165, 328-338
- Daehne, R., 1999: Fog analysis from routine weather data for high-elevation sites in the Eastern Erzgebirge. MSc Thesis, Institute of Hydrology and Meteorology, University of Technology Dresden, 65

- Eliáš, V., Tesař, M., 1994: Cloud-water chemistry and estimated rates of occult deposition in a forested area of the Sumava Mts (south Bohemia, Czech Republic). *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences*, vol. 221, 417–424
- Eliáš, V., Tesař, M., Buchtele, J., 1995: Occult precipitation: sampling, chemical analysis and process modelling in the Sumava Mts. (Czech Republic) and in the Taunus Mts. (Germany), *Journal Hydrology*, vol. 166, 409-420
- Elbert, W., Hoffmann, M.R., Krämer, M., Schmitt, G., Andreae, M.O., 2000: Control of solute concentrations in cloud and fog water by liquid water content. *Atmospheric Environment*, vol. 34, 1109-1122
- Eldridge, R.G., 1971: The relationship between visibility and liquid water content in fog, 6 *Preston Rd., Lexington, Mass.*, 1183-1186
- Elton, G.A.H., Masot, B.J., Picknett, R.G., 1958: The relative importance of condensation and coalescence process on the stability of a water fog. *Transactions of the Faraday Society* 54, 1724-1730
- Fišák J., 2004: Výzkum usazených srážek v Ústavu fyziky atmosféry AV ČR. *Meteorologické zprávy roč. 57*, 78-85
- Fišák, J., 2007: Obsah kapalné vody v mlze na Milešovce v letech 2003-2005. *Meteorologické zprávy, roč. 60*, 27-29
- Fišák, J., Chaloupecký P., Skřivan, P., Špičková, J., 2008: Porovnání koncentrací znečišťujících látek v různých druzích kapalných srážek. *Meteorologické zprávy, roč. 61*, 79-85
- Fišák, J., Řezáčová, D., 1999: Odběr vzorků vody z mlhy a nízké oblačnosti na meteorologických observatořích Milešovka a Kopisty. *Meteorologické zprávy, roč. 52*, 144-148
- Fišák, J., Řezáčová, D., 2000: Koncentrace polutantů v mlžné (oblačné) vodě na Milešovce při vybraných epizodách. *Meteorologické zprávy, roč. 53*, 169-178
- Fišák J., Řezáčová, D., Eliáš, V., Tesař, M., 2001: Comparison of pollutant concentrations in fog (low cloud) water in northern and southern Bohemia. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, vol. 49, 275-290
- Fišák, J., Stoyanová, V., Bartůňková, K., Tesař, M., Shoumkova, A., 2012: Typical insoluble particles in fog water at Milešovka observatory (Czech Republic). *Pure and applied Geophysics*, vol. 169, 1083-1091
- Fišák, J., Stoyanová, V., Tesař, M., Petrova, P., Daskalova, N., Tsacheva, T., Marinov, M., 2009: The pollutants in rime and fog water and in air at Milesovka Observatory (Czech Republic). *Biologia* 64/3, 492-495

- Fišák J., Tesař, M., 2014: Usazené srážky – jejich význam a výzkum. *Akademický bulletin*
Dostupné na: <http://abicko.avcr.cz/2014/06/08/srazky.html>
- Fišák J., Tesař, M., Fottová, D., 2009: Pollutant concentrations in the rime and fog water at the Milesovka observatory. *Water Air Soil Pollution*, 273-285
- Fišák J., Tesař, M., Řezáčová, D., Eliáš, Weignerová, V., Fottová, D., 2002: Pollutant concentrations in fog and low cloud water at selected sites of the Czech Republic. *Atmospheric Research*, vol. 64, 75-87
- Fišák J., Weignerová, V., 2007: Závislost koncentrací polutantů ve vzorcích mlžné vody na vodním obsahu a celkovém povrchu kapiček v mlze. *Meteorologické zprávy*, roč. 57, 11-14
- Frevert, T., Klemm, O., 1984: How do pH-values in rain and fog water change when drying on plant surfaces? *Archives for Meteorology Geophysics and Bioclimatology*, Series B 34, 75-81
- Fuzzi, S., Facchini, M.C., Decesari, S., Matta E., Mircea, M., 2002: Soluble organic compounds in fog and cloud droplets: what have we learned over the past few years? *Atmospheric Research*, vol. 64, 89-98
- Gerber, H., 1998: Standards for measuring fog liquid water content Proc. of the 1st International Conference on Fog and Fog Collection. Vancouver, 149-152
- Godek, M., Błaś, M., Sobik, M., Polkowska, Z., Cichała-Kamrowska, K., Namies, J., 2011: Environmental Role of Rime Chemistry at Selected Mountain Sites in Poland. *Pure and applied geophysics*, vol. 169 (2012), 1093-1110
- Gurka, J.J., Oliver, V.J., 1974: Fog persistence under a cirrus band. *Monthly weather review*, 869-870
- Hadaš, P., Horizontální srážky jako významná složka vláhové bilance ekosystému lužních lesů. In: LAPIN, M. – MATĚJKA, F. *Bioclimatology and water in the land*. Bratislava: Knižovna a publikační centrum fakulty FMFI, Komenského univerzity, Bratislava, 2006, 37, příloha CD
- Herckes, P., Hannigan, M.P., Trenary, L., Lee, T., Collett J.L. (jr.), 2002: Organic compounds in radiation fogs in Davis (California). *Atmospheric Research*, vol. 64, 99-108
- Houghton, H.G., 1955: On the chemical composition of fog and cloud water. *Journal of meteorology*, 355-357
- Hůnová, I., 2001: Spatial interpretation of ambient air quality for the territory of the Czech Republic. *Environmental pollution*, vol. 112, 107-119
- Hůnová, I., Janoušková, S. (Karolinum, 2004): Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší

- Hůnová, I., Kurfürst, P., Vlček, O., Stráník, V., Stoklasová, P., Schovánková, J., Srbová, D., 2016: Towards a better spatial quantification of nitrogen deposition: A case study for Czech forests. *Environmental pollution*, vol. 213, 1028-1041
- Hůnová, I., Maznová, J., Kurfürst, P., 2013: Trends in atmospheric deposition fluxes of sulphur and nitrogen in Czech forests. *Environmental Pollution*, vol. 184 (2014), 668-675
- Chládková, Z., Kalvanová, J., 2005: Změny vybraných klimatických charakteristik v České republice v období 1961-200. *Meteorologické zprávy*, roč. 58, 146-153
- Johnstone, H.F., Moll, A.J., 1960: Air Pollution by Formation of Sulfuric Acid in Fogs. *Industrial & Engineering chemistry*, vol. 52 no. 10, 861-863
- Kobayashi, T., Nakagama, Y., Tamaki, M., 2001: Cloud water deposition to forest canopies of Cryptomeria Japonica at mt. Rokko, Kobe, Japan. *Acid Rain 2000, the 6th International Conference on Acid Deposition, Tsukuba, Japan, 10-16.12. 2001*, 601-606
- Koldovský, M., 1968: Mlhy na Milešovce. *Meteorologické zprávy*, roč. 21, 78-84
- Kumai, M., 1973: Arctic fog droplet size distribution and its effect on light attenuation. *U. S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, N. H. 03755*, 635 - 643
- 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*, vol.37, 3731–3739
- Lovett, G.M., 1984: Rates and mechanisms of cloud water deposition to subalpine balsam fir forest. *Atmospheric Environment*, vol. 18, 361-371
- Lovett, G. M., Kinsman, J., 1990: Atmospheric deposition to high-elevation systems. *Atmospheric Environment* 24, 2767-2786
- Maalick, Z., Kühn, T., Korhonen, H., Kokkola, H., Laaksonen, A., Romakkaniemi, S., 2016: Effect of aerosol concentration and absorbing aerosol on the radiation fog life cycle. *Atmospheric Environment*, vol. 133, 26-33
- Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), ČMeS, Dostupný na: <http://slovník.cmes.cz>
- Murphy, J.G., Day, D.A., Cleary, P.A., Wooldridge, P.J., Millet, D.B., Goldstein, A.H., Cohen, R.C., 2007: The weekend effect within and downwind of Sacramento - Part 1: Observations of ozone, nitrogen oxides, and VOC reactivity. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5327-5339
- Pahl, S., 1996: Fog deposition on spruce forests in high-elevation sites (in Germany). *Ber. D. DWD* 198, 137

- Potužníková, K., Sedlák, P., 2003: Numerická studie radiační mlhy. Část I. Popis charakteristických vývojových stádií radiační mlhy. *Meteorologické zprávy*, roč. 56, 33-39
- Prošková, J., Hůnová, I., 2006: Přístupy k hodnocení atmosférické depozice usazených srážek. *Meteorologické zprávy*, roč. 59, 151-157
- Purdon, M., Cienciala, E., Metelka, V., Beranová, J., Hůnová, I., Černý, M., 2004: Regional variation in forest health under long-term air pollution mitigated by lithological conditions. *Forest Ecology and Management*, vol. 195, 355-371
- Schüttauf, S., Zimmermann, F., Matschullat, J., 2010: Chemical composition of fog and cloud water at the Erzgebirge summit, Germany. *5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Münster, Germany 25-30 July 2010*
- Seinfeld, J. H. a Pandis, S. N., 2006: Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change, 2nd ed. New Jersey: Wiley, 1203
- Sirohi, R.S., 1961: Effect of fog on the colour of a distant light source, *Journal of applied physics*, vol. 3, 96-99
- Skybová, M., 2006: Chemical composition of fog/cloud and rain water in the Beskydy mountains – Czech Republic. *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 15, 448-451
- Skybová, M., 2007: Studium transportu a transformací troposférických polutantů. *Dizertační práce PŘF MUNI, Brno 2007*
- Sobik, M., Blas, M., 2016: Frequency of fog - a global outlook. 7th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Wrocław 24-29 July 2016, Dostupné na: <http://fog-conf.meteo.uni.wroc.pl/index.php/frequency-of-fog-a-global-outlook>
- Strnad, E., Tesař, M., Šír, M., Kubík, F., 1988: Základní charakteristiky chodu mlhy na Churáňově 1976-1987. *Meteorologické zprávy*, roč. 41, 109-119
- Tesař, M., Fottová, D., Eliáš, V., Šír, M., 2000: Occult precipitation as an important contribution to the wet deposition in Bohemian Forest. *Silva Gebrata* vol. 4, 87-96
- Tesař, M., Šír, M., Fottová, D., 2004: Usazené srážky na Šumavě. *Aktuality šumavského výzkumu II, Srní 4.-7.10. 2004*, 79-83
- Tesař, M., Šír, M., Fottová, D., 2007: Occult precipitation as a factor affecting water and mass balance in the headwater region in the Czech Republic. *Conference: Fourth International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, July 22-27, 2007, La Serena, Chile*
- Thalmann, E., 2001: Comparison of occult and wet deposition. Master's Thesis. University of Bern, Institute of Geography, Bern, Switzerland, 118
- Tolasz, R., 2013: Změny ročního chodu srážek v České republice od roku 1961. *Meteorologické zprávy*, roč. 66, 104-109

- Tolazs, R., Židek, D., 1992: Vliv návětrí na zvláštnosti srážek na pradědu a Lysé hoře. *Meteorologické zprávy, roč. 45*, 118-120
- Tolazs, R. (+ kolektiv) (ČHMÚ, Palackého Univerzita v Olomouci 2007): Atlas podnebí Česka kolektiv: Rudolf Brázdil, Otto Bulíř, Petr Dobrovolný, Martin Dubrovský, Lenka Hájková, Olga Halássová, Jiří Hostýnek, Michal Janouch, Mojmír Kohut, Karel Krška, Svatava Křivancová Vít Květoň, Zdeněk Lepka, Pavel Lipina, Jarmila Macková, Ladislav Metelka, Taťána Míková, Zdeněk Mrkvica, Martin Možný, Jiří Nekovář, Luboš Němec, Jiří Pokorný, Jan David Reitschläger, Dáša Richterová, Jaroslav Rožnovský, Miroslav Řepka, Daniela Semerádová, Vladimír Sosna, Martin Stříž, Petr Šercl, Hana Škáchová, Petr Štěpánek, Pavla Štěpánková, Miroslav Trnka, Anna Valeriánová, Jaroslav Valter, Karel Vaníček, František Vavruška, Vít Voženílek, Tomáš Vráblík, Miroslav Vysoudil, Josef Zahradníček, Ilona Zusková, Michal Žák, Zdeněk Žalud
- Toor, H.L., 1971: Fog Vaporization and Condensation in Boundary Value Problems. *Industrial & Engineering chemistry fundamentals, vol. 10*, 121-131
- Vysoudil, M. (Palackého Univerzita v Olomouci, 2004): Meteorologie a klimatologie, 107-108
- Weathers, K.C., Likens, G.E., Bormann, F.H., Eaton, J.S., Bowden, W.B., Andersen, J.L., Cass, D.A., Galloway, J.N., Keene, W.C., Kimball, K.D., Huth, P., Smiley, D., 1986: A regional acid cloud/fog water event in the eastern United States. *Nature vol. 319*, 657-658
- Weathers, K. C., Lovett, G. M., Likens, G. E., 1995: Cloud deposition to a spruce forest edge. *Atmospheric environment, vol. 29*, 665-672
- Weathers, K. C., Lovett, G. M., Likens, G. E., Caraco, N. F. M., 2000: Cloudwater inputs of nitrogen to forest ecosystems in southern Chile: Forms, Fluxes, and Sources. *Ecosystems, vol. 3*, 590-595
- Williams, A.P., Schwartz, R.E., Iacobellis, S., Seager, R., Cook, B.I., Still, Ch.J., Husak, G., Michaelson, J., 2015: Urbanization causes increased cloud base height and decreased fog in coastal Southern California. *Geophysical research letters, vol. 42*, 1527-1536
- Xiankai, L., Jiangming, M., Shoafeng, D., 2008: Effects on nitrogendeposition on forest biodiversity. *Acta Ecologica Sinica, vol. 28*, 5532-5548.
- Yamaguchi, T., Katata, G., Noguchi, I., Sakai, S., Watanabe, Y., Uematsu, M., Furutami, H., 2015: Long-term observation of fog chemistry and estimation of fog water and nitrogen input via fog water deposition at a mountainous site in Hokkaido, Japan. *Atmospheric Research, vol. 151*, 82-92
- Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, příloha č. 1. Dostupné online na: <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/ostatni/101021387.html>

Zimmermann, L., Zimmermann, F., 2002: Fog deposition to Norway spruce at high-elevation sites in the Eastern Erzgebirge (Germany) *Journal of hydrology*, vol. 256, 199-175

Židek, D., Lipina, P., 2003: Metodický předpis č 13 – Návod pro pozorovatele meteorologických stanic.