

**Univerzita Karlova**  
**Přírodovědecká fakulta**



Studijní program: Ochrana životního prostředí

Studijní obor: B-OZP

**Kateřina Veverková**

Mlha – kauzalita změn v jejím výskytu a její vliv na ekosystémy

Fog – causes of its occurrence and its impacts on ecosystems

Typ závěrečné práce:

Bakalářská práce

Vedoucí práce/Školitel:

doc. RNDr. Iva Hůnová, CSc.

Praha, 2025

## **Prohlášení**

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

V Praze dne 25.4.2025

Kateřina Veverková

.....

## **Poděkování**

Děkuji RNDr. Ivě Hůnové, CSc. za cenné rady, profesionální a velmi vstřícný přístup a odborné vedení při zpracování mé bakalářské práce.

# Abstrakt

Cílem této rešeršní bakalářské práce je pomocí vhodně stanovených pracovních otázek přehledně shrnout význam mlhy pro různé ekosystémy a uvést hlavní faktory, které z dlouhodobého hlediska výskyt mlhy ovlivňují. Práce mlhu definuje, analyzuje její chemické a ostatní vlastnosti, představuje typy mlhy a rozlišné procesy vzniku mlhy. Jako základní typy mlhy jsou uvedeny radiační mlha, advekční mlha, advekčně radiační mlha a frontální mlha. Tyto jsou dále rozdělené na podtypy. V bakalářské práci je rovněž vysvětlen velmi zásadní jev atmosférické depozice, a to včetně faktorů, které na ni působí. Samostatná kapitola je věnována významu a vlivu klimatické změny a přítomnosti kondenzačních jader, neboť se jedná o dva hlavní faktory, které výskyt mlhy značně ovlivňují. Část práce se zabývá funkcemi mlhy, které jsou rozmanité. Mlha má vliv na prostředí zejména jako zdroj vody, zdroj živin nebo polutantů. Mlha má rovněž vliv na radiační bilanci, a to různými měřítky. Určité pasáže práce popisují funkce mlhy spjaté s lidskou společností. Je zde definována dostupnost světla a dohlednost, jako faktory ovlivňující všechny druhy dopravy. Zmíněn je zde rovněž sběr mlhy jako zdroje pitné vody a nastíněna souvislost s moderními technologiemi. Na konci je bakalářská práce zaměřena na ekosystémy, které jsou na mlze přímo závislé, jako jsou ekosystémy pobřežní, aridní a horské mlžné lesy. V souvislosti s těmito ekosystémy je popsán průběh změny výskytu mlhy jako odezvy na klimatickou změnu a následná reakce ekosystému na uvedené. Závěrečná kapitola práce obsahuje příklady konkrétních lokalit ekosystémů závislých na mlze, a to včetně rostlinných i živočišných organismů, které z mlhy profitují.

## Klíčová slova

mlha, atmosférická depozice, klimatická změna, kondenzační jádro, vzdušná vlhkost

## **Abstract**

The aim of this literature-based bachelor's thesis is to clearly summarize the importance of fog for various ecosystems using appropriately formulated research questions, and to identify the main long-term factors influencing fog occurrence. The thesis defines fog, analyzes its chemical and other properties, presents different types of fog, and describes the various processes by which fog forms. The basic types of fog introduced include radiation fog, advection fog, advection-radiation fog, and frontal fog. These are further divided into subtypes. The thesis also explains the crucial phenomenon of atmospheric deposition, including the factors that influence it. A separate chapter is dedicated to the significance and impact of climate change and the presence of condensation nuclei, as these are two key factors that significantly affect the occurrence of fog. Part of the thesis addresses the functions of fog, which are diverse. Fog impacts the environment primarily as a source of water, nutrients, or pollutants. It also influences the radiation balance at various scales. Certain sections describe the functions of fog related to human society, including definitions of light availability and visibility, which affect all forms of transport. Fog harvesting as a source of drinking water is also discussed, along with connections to modern technologies. Toward the end, the thesis focuses on ecosystems that are directly dependent on fog, such as coastal ecosystems, arid regions, and montane cloud forests. In connection with these ecosystems, the thesis describes the changing patterns of fog occurrence in response to climate change and the subsequent reactions of the ecosystems. The final chapter provides examples of specific locations of fog-dependent ecosystems, including both plant and animal species that benefit from fog.

## **Keywords**

fog, atmospheric deposition, climate change, condensation nucleus, air humidity

## Obsah

1. Úvod.....	9
2. Definice mlhy.....	10
3. Chemické vlastnosti mlhy.....	11
4. Vznik mlhy.....	12
4.1. Kondenzační jádra .....	12
4.2. Vzdušná vlhkost .....	13
5. Atmosférická depozice a ovlivňující faktory .....	14
5.1. Faktor času.....	14
5.2. Faktor prostředí.....	15
5.3. Faktor vegetace.....	16
6. Typy mlhy.....	18
6.1. Radiační mlha – mlha z ochlazení .....	19
6.2. Advekční mlha – mlha z ochlazení a stoupání .....	20
6.2.1. Advekce teplého vzduchu nad chladnější povrch .....	20
6.2.2. Advekce studeného vzduchu nad teplejší vodní povrch .....	21
6.3. Advekčně radiační mlhy – mlha kombinovaná .....	22
6.4. Frontální mlha.....	22
6.5. Ostatní dělení mlhy.....	23
7. Funkce mlhy.....	23
7.1. Mlha jako zdroj vlhkosti a pitné vody .....	24
7.2. Mlha jako zdroj živin.....	26
7.3. Mlha jako zdroj znečištění se zaměřením na acidifikaci.....	27
7.4. Rozptyl a absorpce elektromagnetického záření .....	29
7.4.1. Dohlednost .....	29
7.4.2. Dostupnost světla .....	30
7.4.3. Radiační bilance zemského povrchu .....	31
8. Příčiny ovlivňující změnu výskytu mlhy .....	32

8.1.	Klimatická změna .....	33
8.2.	Přítomnost kondenzačních jader .....	34
8.3.	Ostatní příčiny .....	34
9.	Následky změn ve výskytu mlhy ve vybraných ekosystémech .....	35
9.1.	Pobřežní a aridní ekosystémy .....	36
9.1.1.	Typy a procesy vzniku mlhy .....	36
9.1.2.	Studie a klimatologie.....	37
9.2.	Horské mlžné lesy .....	38
9.2.1.	Typy a procesy vzniku mlhy .....	38
9.2.2.	Studie a klimatologie.....	39
10.	Příklady ekosystémů závislých na mlze .....	41
10.1.	Západní pobřeží Severní Ameriky .....	41
10.2.	Západní pobřeží Jižní Ameriky.....	41
10.3.	Západní pobřeží jihu Afriky.....	42
10.4.	Horský mlžný les v Kostarice .....	44
11.	Závěr .....	45

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Jezero Lagoa do Canario (Kratoňová M.) .....	13
Obrázek 2 - Vyhlídka Miradouro da Boca (Kratoňová M.) .....	13
Obrázek 3 - Radiační mlha (zdroj vlastní) .....	19
Obrázek 4 - Jezero Lagoa do Fogo, přírodní rezervace, střed ostrova Sâ (Kratoňová M.) .....	20
Obrázek 5 - Příklad čerpání vzdušné vlhkosti u živočichů (podle Brown et Bhushan, 2016) .....	25
Obrázek 6 - dopravní značka "mlha" (MD ČR, 2015) .....	30
Obrázek 7 - Radiační bilance zemského povrchu (vlastní zpracování) .....	31
Obrázek 8 - Tepelný ostrov města (vlastní zpracování) .....	35
Obrázek 9 - Působení klimatické změny na vznik mlhy (vlastní zpracování) .....	40
Obrázek 10 - Echeveria subsessilis (vlastní zpracování) .....	43
Obrázek 11 - Tillandsia usneoides (zdroj vlastní) .....	43
Obrázek 12 - Pharomachrus mocinno, symbol středoamerických mlžných lesů .....	44

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Willettova klasifikace mlhy .....	18
Tabulka 2 - Klasifikace mlhy podle Bednáře, 1993 .....	23

# 1. Úvod

Mlha je velmi zajímavým, často pohádkovým a všem známým krajinným prvkem, který lze z meteorologického hlediska definovat jako oblak dotýkající se zemského povrchu. Mlha je rovněž jedním z nejobtížněji předvídatelných meteorologických jevů. Jedná se o komplexní atmosférický jev, který má v mnohých oblastech svůj nezastupitelný význam a existence určitých ekosystémů by bez tohoto přírodního fenoménu vlastně nebyla absolutně možná.

Mlha je zdrojem vláhy a v určitých oblastech podstatný zdroj pitné vody. Mlha je rovněž zdrojem živin a prospěšných látek. Často je však mlha zdrojem polutantů a látek škodlivých. Funkce mlhy jsou tedy velmi rozmanité a její význam je nejednoznačný.

Pokud pomineme vědecké definice, lze jednoduše konstatovat, že je mlha nedílnou součástí běžného života, kdy vznikají – z důvodu snížené dohlednosti zapříčiněné mlhou – komplikace v dopravě, které velmi často vedou k život ohrožujícím situacím.

Nejen z výše uvedených důvodů bychom se jako společnost měli snažit lépe fenoménu mlhy porozumět, mít o mlze dostatek informací, spolehlivěji ji předpovídat nebo dokonce s tímto přírodním jevem efektivně pracovat.

Cílem mé bakalářské práce je v krátkém časovém horizontu a s využitím vhodně zvolených pracovních otázek a metody přehledně shrnout význam mlhy pro různé ekosystémy a definovat hlavní faktory, které z dlouhodobého hlediska výskyt mlhy ovlivňují.

Pracovní otázky, které si práce klade, jsou následující:

- 1) Jaké hlavní faktory ovlivňují dlouhodobý trend výskytu mlhy?
- 2) Jaký je vliv mlhy pro různé ekosystémy?

## 2. Definice mlhy

Mlha je oblak druhu stratus, který je ve fyzickém kontaktu se zemským povrchem. Mezi oblakem a mlhou není kvalitativně žádný rozdíl, neboť jsou oba složeny z malých vodních kapiček. Mlžné kapičky jsou však menší a v objemu přenášené vody na částici méně významné. Jejich menší velikost a tím větší poměr povrchu vůči objemu způsobuje, že jsou mlžné kapičky mnohonásobně koncentrovanější než dešťové. Přestože jsou mlžné kapičky vůči dešti relativně malé s rozměry v rozmezích od 0,005 do 0,05 mm, mohou dohromady tvořit významný zdroj vláhy pro ekosystémy (Beiderwieden et al., 2005; Bednář a Kopáček, 2019; Weathers et al., 2020; Weathers et al., 2023).

Mlha je suspenze malých vodních kapiček nebo i krystalků snižující dohlednost při zemi ve vertikálním směru pod 1 km. Podle Oxfordského slovníku je mlha stav snížené dohlednosti u povrchu země, způsobený přítomností drobných kapiček vody ve vzduchu téměř nasyceném vodní parou. Zmrzlé částičky se začínají vyskytovat až při teplotách pod  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , do té doby je mlha tvořena přechlazenými částičky vody. Výhradně ledové částice se tvoří pouze při velice silných mrazech (Allaby, 2008; ČMeS, 2017; Bednář a Kopáček, 2019).

Přítomné kapalné či pevné částice vody rozptýlené v atmosféře se nazývají hydrometeory stejně jako částice v oblacích. Oproti oblakům je mlha v kontaktu s povrchem země a částice v ní obsažené jsou obvykle méně hmotné. Menší hmotnost částic zapříčiňuje, že tyto nepodléhají vertikálnímu spádu, a tak je mlha rovněž nazývána horizontální srážkou. Hmotnost částice diferencuje velikost gravitační síly, která na ni působí. Velice se tedy liší i proces depozice, a tím působení hydrometeorů na ekosystém, přičemž mlha působí komplexněji a dlouhodoběji (Fišák a Tesař, 2016; ČMeS, 2017; Bednář a Kopáček, 2019).

I přes obecné povědomí, že je mlha důležitým přispěvatelem atmosférické depozice, je často zanedbávána z důvodu technologické náročnosti její kvantifikace. Nejen z těchto důvodů je mlha nazývána také jako okultní srážka (Fišák a Tesař, 2016; Bednář a Kopáček, 2019; Hůnová, 2024).

### 3. Chemické vlastnosti mlhy

Mlha interaguje s oxidy v ovzduší, jako jsou  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , dále reaguje s  $\text{HCl}$  a  $\text{NH}_3$ . Tyto látky tvoří anorganickou složku, která spolu s organickými látkami vstupuje do chemických procesů, jimž mlha poskytuje velice vhodné médium. Chemické látky se do mlhy dostávají při jejím vzniku, a to ve formě kondenzačních jader v rámci nukleačního procesu (rainout<sup>1</sup>, česky též vypršení). Druhý způsob obohacení vzdušné vlhkosti chemickými látkami je impakční proces (washout<sup>2</sup> česky též vymývání), během něhož již existující kapky vychytávají látky z ovzduší. Z uvedených procesů převažuje proces nukleační, a proto je přibližně zachován poměr obsahu vody vůči rozpuštěným látkám. Stálému poměru napomáhá i tendence mlhy vychytávat spíše větší částičky, které byly dříve aktivovány (Elbert et al., 2000; Kajino a Aikawa, 2015; Kim et al., 2019).

Předmětné procesy rainout a washout jsou obecné pro všechny typy hydrometeory, v těch jsou z tohoto důvodu obsažené dvě frakce chemických látek. Chemické složení jednotlivých frakcí vzniklých v určité mlze se většinou příliš neliší, což je zapříčiněno omezeným pohybem mlhy v prostoru. Tento fakt upřednostňuje mlhu jako ukazatel stavu lokálního znečištění, neboť mlha je na rozdíl od oblak v prostoru relativně statická (Khoury, et al., 2023).

V závislosti na místě s odlišným obsahem látek a kondenzačních jader v atmosféře, mohou vznikat mlhy s rozmanitým chemickým složením. V pobřežních oblastech mohou jako kondenzační jádra posloužit, a stejně tak pak být zachyceny vzniklou kapalinou, krystalky soli. Proto v pobřežních oblastech dominují ionty  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$ . V oblastech intenzivního osídlení a rozvíjejícího se průmyslu mají velké zastoupení ionty  $\text{SO}_4^{2-}$  a  $\text{NO}_3^-$ , které mohou působit acidifikaci ekosystémů (viz kap. 7.3.). V oblastech s rozvinutou zemědělskou činností mlha obsahuje vysoký podíl  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , které mohou být indikátorem spalování biomasy (Weathers et al., 2020).

Kromě chemického složení je u mlhy důležitá velikost kapek, která koreluje s koncentrací chemické látky uvnitř kapek. Koncentrace mlžných kapek je do jisté míry dána tedy dostupností kondenzačních jader, množstvím rozpustitelných látek v atmosféře a velikostí kapek. Voda z mlhy je v porovnání s vodou dešťovou velmi koncentrovaná, což je zapříčiněno právě malou velikostí kapiček a jejich delším setrváním v atmosféře. Tento fakt se umocňuje v průběhu existence mlžné kapičky, která je svým oproti objemu velkým povrchem vystavena záření a podléhá tak výparu, čímž se relativně vůči zbylé vodě v kapičce navyšuje množství příměsí. Povrch vymývá látky obsažené v atmosféře, které jsou pak rovněž rozpuštěné v menším objemu oproti větším dešťovým kapkám (Beiderwieden et al., 2005; Khoury et al., 2023).

---

<sup>1</sup> Rainout je samočistící proces atmosféry – odstranění příměsí z oblaku ve formě kondenzačních jader (AMS, 2024)

<sup>2</sup> Washout je samočistící proces atmosféry – zachycení příměsí z podoblačné vrstvy (ČMeS, 2017)

## 4. Vznik mlhy

Mlha jakožto hydrometeor vzniká kondenzací vzdušné páry v přízemní vrstvě atmosféry. Tato kondenzace může mít různorodé příčiny, podle nichž mlhu dělíme (viz kapitola 6). Pro četnost vzniku mlhy jsou důležité dva parametry atmosféry. První podmínkou vzniku mlhy jsou kondenzační jádra, která určují množství mlhy. Důležitým faktorem jsou i chemické a fyzikální vlastnosti kondenzačních jader jako jsou množství, složení, smáčivost povrchu, tvar, velikost a rozpustnost. Druhým zásadním parametrem je vzdušná vlhkost, která souvisí s teplotou vzduchu. Mlha vzniká právě když jsou teplota rosného bodu a teplota vzduchu totožné, nebo se k sobě tyto dvě hodnoty blíží při dostatečném počtu kondenzačních jader (Curry a Webster, 1999; Gulpepe et al., 2007; Koračín a Dorman, 2017; Poku et al., 2019; Khoury et al., 2023).

### 4.1. Kondenzační jádra

Kondenzační jádra jsou pevnou či kapalnou příměsí v atmosféře. Jsou podskupinou atmosférických aerosolů vyznačujících se schopností hygroskopicity, tedy schopností zachycovat vodu. Jsou vhodným substrátem pro mlžné kapičky, čímž podněcují vodní páru ke kondenzaci. Svou přítomností v atmosféře umožňují heterogenní nukleaci, a tím kondenzaci vody, a to i bez stoprocentní vlhkosti (ČMeS, 2017; Poku et al., 2019).

Kondenzační jádra jsou proto pozitivním ukazatelem ve výskytu mlhy. Při úvaze naprosto čistého vzduchu bez kondenzačních jader, by voda mohla kondenzovat jedinečně homogenní nukleací, což je energeticky velice náročné a jevu by musela napomoci vlhkost vzduchu, která by musela přesáhnout 100 %. V atmosféře jsou vždy rozprostřené i jiné než oblačné aerosoly, proto je případ nutnosti homogenní nukleace spíše jen teorém, který je ale důležitý pro zdůraznění významu aerosolových částic jako kondenzačních jader a jejich nezastupitelné funkce při kondenzaci vody v atmosféře (Willett, 1928; Curry a Webster, 1999; Gulpepe et al., 2007).

Velikost aerosolových částic se obvykle pohybuje mezi 1 nm a 20  $\mu\text{m}$ . Atmosférické aerosoly jsou buď přirozeného původu nebo emitované člověkem, tedy antropogenního původu. Dále se člení na primární aerosoly a sekundární aerosoly, které vznikají až v ovzduší z prekursorů ve formě plynu (Box a Box, 2024).

Hlavními přirozenými zdroji atmosférických aerosolů jsou oceány a půda. I v extrémně čistých oblastech se proto v ovzduší vyskytují atmosférické aerosoly, jako jsou krystalky mořské soli, půdní částice, bioaerosol nebo vulkanický popel. Půda, jejíž přirozené fungování může být pozměněné člověkem, je po tomto pozměnění chápána jako zdroj aerosolu nepřímých emisí antropogenního původu. Je uváděno, že až polovina prашného aerosolu pocházejícího z aridních prostředí jsou původu antropogenního (Hovorka, 2013; Box a Box, 2024).

Globálně antropogenní aerosoly tvoří jen 5 % celkového množství atmosférického aerosolu. Vzhledem k nerovnoměrnému rozložení aerosolů v atmosféře je však podíl antropogenních aerosolů v oblastech s vyšší hustotou zalidnění větší. V těchto regionech pak antropogenní aerosoly sehrávají klíčovou roli při tvorbě mlhy (Hovorka, 2013).

Aerosoly antropogenního původu jsou především zplodiny ze spalování, které v atmosféře tvoří sekundární škodliviny jako jsou sulfáty a nitráty. Jejich pobyt v atmosféře není nijak dlouhý, neboť během několika dní troposféru opouští samočisticími procesy. Čím více jader je v atmosféře, tím vzniká více hydrometeorů, skrze něž se obsah kondenzačních jader dostává k povrchu. Z důvodu negativního dopadu antropogenních aerosolů na živé organismy je snaha jejich koncentrace snižovat, jak se děje v mnoha rozvinutých zemích, což přispívá k poklesu výskytu mlhy (viz kapitola 8.2.) (Vatuard a Yiou, 2009; Boucher et al., 2013).

#### 4.2. Vzdušná vlhkost

Vzdušná vlhkost atmosféry je závislá na teplotě vzduchu. Čím teplejší vzduch je, tím více vlhkosti pojme. Důležitou charakteristikou vlhkosti vzduchu a důležitým pojmem pro vznik mlhy je rosný bod. Je to hodnota teploty, které vzduch dosáhne vlivem ochlazování, a stane se tak při dané absolutní vlhkosti nasyceným. Ochlazení vzduchu má za následek snížení kapacity vzduchu pro vodní páru a ochlazením na teplotu rosného bodu je vzduch nasycen. Relativní vlhkost vzduchu se zvyšuje se snižující se teplotou. Po překročení teploty rosného bodu dochází ke kondenzaci a vzniku oblačného aerosolu. Rosného bodu je dosaženo přidáním vlhkosti či snížením teploty (Curry a Webster, 1999; ČMeS 2017; Kuračín a Dorman, 2017; Poku et al., 2019).



Obrázek 2 - Vyhlička Miradouro da Boca (Kratoňová M.)



Obrázek 1 - Jezero Lagoa do Canario (Kratoňová M.)

## 5. Atmosférická depozice a ovlivňující faktory

Atmosférickou depozici lze definovat jako přenos či tok látek z atmosféry k zemskému povrchu, vyjádřený jako hmotnost sledované látky na jednotku plochy za určitou časovou jednotku. Zpravidla se používá jednotek  $\text{g/m}^2/\text{rok}$  nebo  $\text{kg/km}^2/\text{rok}$ . Atmosférická depozice je proces, při němž dochází k sedimentaci vzdušných aerosolů a plynů z atmosféry na povrch Země. Je to proces transportu atmosférické příměsi z atmosféry (Braníš a Hůnová, 2009; ČMeS, 2017).

Atmosférická depozice tvoří důležitou součástí koloběhu živin a vlhkosti. Proces atmosférické depozice obsahuje dvě roviny. Z jednoho úhlu pohledu je to velice důležitá součást samočistícího procesu atmosféry, kdy dochází k odstraňování škodlivin a znečištění z ovzduší. Z druhého úhlu pohledu je tento proces zdrojem znečištění pro ostatní sféry a kontaminuje tak povrch Země, což působí v některých oblastech značné problémy (Pacyna, 2008; Khoury et al., 2023; Hůnová, 2024).

Atmosférickou depozici lze rozdělit na dvě části, na depozici mokrou a suchou. Suchá depozice je gravitační spád ve vzduchu volně se pohybujících příměsí, který je výsledkem působení gravitační síly na dostatečně hmotnou částici. Mokrá depozice je rovněž výsledkem působení gravitační síly, avšak na částici kapalnou, ve které jsou příměsi rozpuštěné. Mokrá depozice probíhá prostřednictvím srážek, které mohou být vertikální (padající) vznikající v oblacích (děšť, sníh) nebo horizontální (usazené) vznikající mimo oblaky, mezi které řadíme mlhu. Efektivita, s jakou se budou částice mlhy usazovat, je závislá na velikosti kapiček. Čím větší tím spíše mají tendenci se uchytit a deponovat (ČMeS, 2017; WMO, 2020; Selma et al., 2022)

Mlha v závislosti na charakteru prostředí přispívá různým podílem k depozičnímu toku vody a prvků, přičemž prvky mohou znamenat živiny či polutanty. To, jakou měrou mlha přispívá k atmosférické depozici, je ovlivněno celou řadou faktorů. Klíčovými faktory jsou podmínky potřebné pro vznik mlhy, tedy kondenzační jádra a vzdušná vlhkost, které určují rozsah a četnost jejího výskytu (viz kapitola 4.). Jakmile mlha vznikne, její dopad na prostředí dále modifikují další proměnné (Blaš et al., 2002; Emery, 2016; Bednář a Kopáček, 2019; Weathers et al., 2020).

### 5.1. Faktor času

Důležitým faktorem pro význam mlhy je rozprostření jejího výskytu v čase, což jí dělá velice podstatnou v hydrologickém cyklu. Nejen doba trvání mlhy, ale i pravidelnost a frekvence jejího výskytu v dlouhodobé rovině jsou velice důležitým ukazatelem. Pravidelnost je velice důležitá pro existenci rostlin. Například v poušti Atacama může být právě pravidelnější výskyt mlhy rozhodujícím faktorem přispívajícím k větší diverzitě v peruánské části pouště oproti té, která je na území Chile a která čelí méně pravidelnému výskytu mlh (Rundel et al., 1991; Dawson, 1998).

Jiným příkladem může být situace během jevu El Niño v pobřežních ekosystémech Kalifornie, kdy sice došlo ke zvýšení úhrnu dešťových srážek na úkor mlhy, avšak izotopová analýza ukázala, že podíl mlhy na celkovém příjmu vláhy byl větší než obvykle. Tato neshoda v podílu mlhy na celkovém úhrnu a jejího podílu na využití rostlinami byla způsobena výskytem mlhy v čase, který byl nejintenzivnější v letním suchém období, kdy jiného zdroje nebylo (Dawson, 1998).

Význam mlhy v ekosystému závisí tedy na sezonalitě, a to zejména v oblastech, kde se střídá suché a vlhké období. Jakmile déšť ustoupí, význam mlhy relativně naroste a rostliny se k ní obrací. Například epifytní rostliny v suchém období nemohou vlivem nedostatečné kapilární síly a vodního potenciálu čerpat vodu skrze xylém hostitelů. Jejich existence v suchém období závisí zejména na mlze (Yang et al., 2024).

## **5.2. Faktor prostředí**

Mlhu ovlivňuje mnoho faktorů týkajících se prostředí, ve kterém se mlha vyskytuje.

### **Nadmořská výška a geomorfologie**

Obecně se mlha vyskytuje častěji s rostoucí nadmořskou výškou, která tvoří jeden z nejdůležitějších faktorů jejího výskytu. Důležité pro její vznik a výskyt jsou ale i další geomorfologické vlastnosti prostředí. Například na hranicích Česka s Polskem přispívají k vzniku orografické mlhy konvexní tvary povrchu a vhodně orientované svahy s absencí dalších překážek na návětrné straně, kam cirkulace atmosféry přináší vlhký vzduch ze severního pobřeží. Studie z oblasti Kapského města v Jižní Africe, zaměřená na identifikaci vhodných lokalit pro sběr vody z mlhy stanovila jako klíčové podmínky prostředí blízkost pobřeží, nízké teploty a silné větry, nadmořská výška nad 1000 m nebo pod 200 m a prudké svahy orientované směrem k oceánu (Blaś et al., 2002; Thalmann et al., 2002; Hůnová et al., 2021 a; Adeleke a Mnikathi, 2025).

### **Meteorologie**

Po vzniku mlhy je pro její delší setrvání v atmosféře podstatná meteorologická situace, vyznačující se dostatečnou stabilitou a omezenou rychlostí větru. Pokud se však jedná o mlhy vzniklé advekcí, k čemuž je potřeba určitý pohyb vzdušných hmot, je vítr pozitivním přispěvatelem k atmosférické depozici, neboť pohybem mlžného oblaku přes povrch Země je záchyt částic umocněn. (Dollard a Unsworth, 1983; Collett et al., 1990; Burgess et al., 2004; Bednář a Kopáček, 2019).

### 5.3. Faktor vegetace

Faktor vegetace je další z významných faktorů ovlivňující mlhu. Lze ho rozčlenit na:

#### **Pokryv vegetací**

Pokryv povrchu vegetací působí na výskyt mlhy nejprve při vzniku, kdy je zdrojem vlhkosti a také prekursorů kondenzačních jader podstatných pro vznik mlhy. Poté, co mlha vznikne, působí vegetace i na míru, jakou mlha bude deponovat. Pro záchyt horizontální srážky je velice důležitá velikost povrchu udávána z velké části právě vegetačním pokryvem. Změnou vegetačního pokryvu ovlivníme velikost povrchu, který je mlze vystaven a tím množství mlhy, které deponuje. Horizontální úhrn se tedy zvyšuje se zvětšujícím se vegetačním pokryvem. Existuje například studie porovnáující zemědělskou oblast se zalesněným územím ve velikosti toku iontů z mlhy, jejíž měření zaznamenalo rozdíl v podílu mlhy na depozici iontů, který je o 55-80% větší na zalesněném území oproti lokalitě zemědělsky využívané půdy. Autor jako případný důvod tohoto rozdílu uvádí rovněž množství vegetačního pokryvu. V oblasti tropických deštných pralesů větší množství porostu pokrývající tuto lokalitu zviditelnilo mlžnou a suchou depozici zvýšenými koncentracemi fosforu. (Thalmann et al., 2002; Vandecar et al., 2015; Palán, 2019; Hůnová et al., 2021 b).

#### **Druh vegetace a specifická listová plocha**

Povrch zalesněného území je mnohem hrubší a větší, k čemuž přispívají i vlastnosti konkrétních druhů, které mohou být uzpůsobené tomuto zdroji vlhkosti, například velikostí plochy svých listů nebo tělesnou stavbou. Vegetace mění význam mlhy také v závislosti na druhu a jeho vlastnostech. Ve studii soustředující se na lokalitu Kalifornských pobřežních ekosystémů je uveden podíl mlhy na příjmu rostlin kořenovým systémem vyčíslen pomocí izotopového složení. Bylo zjištěno, že příjem vody z mlhy sekvojemi činí 34 % celkového příjmu vody. Naproti tomu v obnažených místech s porostem rostlin pouze bylinného patra je podíl mlhy 17 %. Z těchto čísel vyplývá, že pod korunami sekvojí je mnohem větší zastoupení horizontální depozice. Tento rozdíl je kromě výšky sekvojí dosahující spíše mlžného pásu způsoben právě zvětšením povrchu vhodného k intercepci vlhkosti ze vzduchu, ze kterého horizontální depozice stéká pod koruny sekvojí. Různé druhy rostlin se během evoluce čerpání vlhkosti z mlhy přizpůsobily, proto je pro depozici mlhy podstatná i druhová skladba případné vegetace. Využití mlhy jako zdroje vlhkosti závisí na fenologii rostliny, morfologii a vodní bilanci. Z předešlých informací vyplývá, že ideální jsou druhy s velkou specifickou listovou plochou (SLA), která může míru depozice mlhy zásadně ovlivnit. Například jehličnaté dřeviny mají větší specifický listový povrch než listnaté dřeviny a vůbec jeden z největších SLA má právě Sekvoj vždyzelená, latinsky *Sequoia semipervensis* (Dawson, 1998; Burgess et al., 2004; Emery, 2016; Bittencourt et al., 2018).

## **Struktura povrchu listů**

Povrch rostliny může být dále zvětšen a adaptován za pomoci různých strukturních výčnělků za účelem zvýšení intercepce mlhy. Rostliny vykazují značnou heterogenitu v topografii, neboť v některých případech může být vlhkost čerpána i foliární absorpcí, k čemuž rostliny uzpůsobily smáčivost a propustnost svého povrchu. Tento proces je důležitý pro rostliny vystavené stresu suchem, které nejsou v důsledku sucha schopné udržet tok vody. Tyto rostliny mohou svůj povrch zvětšit a zdrsňit na mikroskopické úrovni přítomností trichomů nebo papil. V jiných případech v měřítku nanometrů, kdy je smáčivost listů alterována strukturou nebo složením kutikuly. Mlha může deponovat na rostlinách s nesmáčivým povrchem, kde se tvoří kapičky vlhkosti, nebo pokud je povrch smáčivý, tvoří mlha na tomto povrchu souvislý vodný film, což umožňuje lepší foliární absorpci (Oliveira et al., 2014; Fernández et al., 2020).

## **Foliární absorpce**

Foliární absorpce je častým jevem vyskytující se téměř ve všech rostlinných čeledích. Podíl tohoto procesu na hydrologické bilanci rostliny kolísá a bývá minoritní, avšak existují druhy rostlin, pro které je velmi typická, jako jsou například epifytní rostliny v tropických oblastech nebo poikilohydrické<sup>3</sup> druhy rostlin, které pro tento způsob příjmu ztratily kutikulu. Jedná se o proces vsaku vody skrze listy. Při opravdu silných mlhách dochází k převrácení směru toku xylémem, přičemž vlhkost může být čerpána rovnou z atmosféry nebo již z vlhkosti deponované na povrchu listu. Experimentální data uvádějí tento zpětný tok vody například u sekvojí o rychlosti 5-7 % běžného transpiračního toku xylémem proudícím standardním směrem (Burgess et al., 2004). Přestože je proces foliární absorpce jednotně nazýván, v přírodě probíhá mnoha způsoby a za pomoci rozmanitých útvarů. Jedním z takových útvarů jsou i hydatody přítomné u xerofytních rostlin. Funkčnost těchto útvarů není zatím zcela probádána, avšak stejně jako jsou tyto útvary schopné vodu během období dešťů vyloučit, existují spekulace o jejich funkci vodu také absorbovat (Martin a Willert, 2000; Berry et al., 2019).

---

<sup>3</sup> Poikilohydrické rostliny nejsou schopné regulace vody ve svých tělech, a jsou tak zcela závislé na vlhkosti prostředí (Smith et al., 1997)

## 6. Typy mlhy

Vlastnosti a působení mlhy na ekosystém jsou dány parametry mlhy, jako jsou množství rozpuštěných látek a množství vlhkosti. Některé způsoby vzniku nesou s sebou charakteristické vlastnosti podnebí a mlh takto vzniklých. Pro určení významu mlhy v prostředí a pro lepší meteorologické i klimatologické předpovědi je stěžejní otázka vlastností mlhy a vlastností podnebí, ve kterém vzniká, tedy její původ. Často se kombinace vlastností vzniklých mlh opakuje, jelikož jsou výsledkem toho, jakým způsobem mlhy vznikaly a výsledkem určité meteorologické situace. Tento poznatek umožnil kategorizaci mlh. Rozlišujeme tak různé typy mlh (Willett, 1928; Gultepe et al., 2007; Blás, 2010).

Význam meteorologických podmínek při tvorbě mlhy zdůraznil americký meteorolog Hurd Curtis Willett, který následně vytvořil návrh klasifikace mlhy. Willettova klasifikace je nejstarším a doposud používaným způsobem členění. U Willettovy klasifikace je přítomna jistá hierarchie, která umožňuje zobecnit pojetí některých typů a vytvořit nadskupinu zahrnující tyto typy. Klasifikace škálu procesů vzniku mlh člení na dvě kategorie obsahující devět hlavních typů, které mohou být dále členěné podle různých aspektů. Těchto devět druhů může vznikat buďto uvnitř vzduchových hmot, což je název první kategorie, nebo na frontálním rozhraní vzduchových hmot, jak vznikají mlhy s názvem frontální (Gulpe et al., 2007; Bednář a Kopáček, 2019).

Willett dělí základní typy mlhy následovně (viz Tab. 1):

Tabulka 1 - Willettova klasifikace mlhy

mlhy vzniklé uvnitř vzduchových hmot	radiační		přízemní mlha
			vysoká mlha
	advekcí	advekce teplého vzduchu nad chladnější povrch	monzunová mlha
			mořská mlha
			mlha tropického vzduchu
		advekce studeného vzduchu nad teplejší vodní povrch	výpary arktických moří
	podzimní výpary		
	advekcí radiační		maritimní mlha
	frontální mlhy	mohou vznikat uvnitř, těsně před, nebo těsně za frontálním rozhraní	

### 6.1. Radiační mlha – mlha z ochlazení

Radiační mlha (viz Obr.3) je většinou tvořena v přízemní vrstvě za výskytu anticyklony při minimálních rychlostech větru. Tvoří se v noci, kdy se země ochlazuje vyzařováním dlouhovlnného záření. Vzduch přiléhající k ochlazené zemi se od země ochladí a vzniká mlha (Gultepe et al., 2007; Khoury et al., 2023).

Oproti mlhám vznikající advekcí (viz kap. 6.2.) je pro vznik radiačních mlh nezbytné jasné počasí a jistá stabilita atmosféry. Nejvhodnější je bezvětří, které pak neumožní takový rozsah interakce s povrchem země jako je tomu u mlhy advekčního typu. Rozdíl je rovněž v prostorové umístění, přičemž podmínky vhodné pro vznik radiační mlhy umožňuje pouze pevnina. Tato v noci intenzivně vyzařuje, a tak se ochlazuje. Radiační mlha má oproti mlze advekční větší spektrum velikosti kapek (Burgess et al., 2004; Bednář a Kopáček, 2019).



Obrázek 3 - Radiační mlha (zdroj vlastní)

#### **Přízemní mlha**

Přízemní mlha je prvním podtypem radiační mlhy, která je charakteristická svým výskytem především na podzim, a to přes noc nebo k ránu. Vzniká při bezvětří ochlazením vzdušné hmoty od pevniny. Zdrojem vlhkosti je tedy pevnina. Směrem vzhůru mlha poměrně rychle řídne a nedosahuje tak značných výšek. Ráno s východem Slunce, kdy se pevnina opět ohřeje, zaniká mlha konvekcí (Bednář a Kopáček, 2019).

#### **Vysoká mlha**

Vysoká mlha je dalším podtypem radiační mlhy. Nazývá se též mlhou inverzní. Vzniká při jasném počasí ochlazením vrstvy vzduchu pod zádržnou vrstvou inverze. Tato mlha vzniká z vrchu, kde po celou dobu zůstává nejhustší, a postupuje směrem dolů. Může tak dosahovat značných výšek, a to až 100 m (ČMeS, 2017; Bednář a Kopáček, 2019)

## 6.2. Advekční mlha – mlha z ochlazení a stoupání

Advekční mlha (viz Obr. 4) vzniká kondenzací, která je zapříčiněna tzv. advekcí. Advekce je přesun vzduchových hmot v horizontálním směru. Tímto jevem mlha vzniká dvěma základními způsoby, a to advekcí chladnějšího vzduchu nad teplejší vodní povrch, anebo při advekcí teplejšího vzduchu nad chladnější povrch. Advekční typ mlhy je závislý na výskytu větru, který způsobí přesun vzdušných mas nad vhodný povrch nebo může skrze morfologii terénu mlhu donutit vystoupat a tím ji ochladit. Pokud vítr tlačí vlhký vzduch takto do svahu, dojde k adiabatickému ochlazení a vzniká tak mlha orografická (Munzar, 1989; Burgess et al., 2004).



Obrázek 4 - Jezero Lagoa do Fogo, přírodní rezervace, střed ostrova Sâ (Kratoňová M.)

### 6.2.1. Advekce teplého vzduchu nad chladnější povrch

Mlhy vzniklé advekcí teplého vzduchu nad chladnější povrch jsou dále členěné na:

- monzunové mlhy,
- mořské mlhy,
- mlhy tropického vzduchu.

Spodní vrstva atmosféry se ochlazuje od vůči ní chladnějšímu povrchu Země. Chlad a kondenzované částice se díky turbulentnímu proudění dostávají vysoko nad místo styku chladnějšího povrchu se vzduchovou hmotou, čímž při dostatku vlhkosti ve vzduchu vznikají i stovky metrů vysoké mlhy (Bednář a Kopáček, 2019).

#### Monzunová mlha

Monzunové mlhy se objevují v teplých obdobích v přímořských oblastech, kdy se nad mořem vyskytují relativně chladné vzduchové hmoty na rozdíl od vzduchu ohřívajícího se od rozpálené pevniny. Při přesunu teplého vzduchu nad chladný oceán začíná probíhat ochlazování, následně kondenzace a tím vzniká monzunová mlha. Mlha může být prouděním zanesena nad pevninu.

I v zimním období, kdy vzduch proudí převážně nad teplejší oceán, může s sebou odnášet mlhy vzniklé nad pevninou. Jedná se však o poměrně vzácný jev (Bednář a Kopáček, 2019; AMS, 2024).

### **Mořská mlha**

Mořská mlha a proces jejího vzniku se odehrává výhradně nad povrchem moře, avšak vzniklá mlha může být přenesena větrem nad pevninu. Tento podtyp advekční mlhy vzniká za existence dostatečného horizontálního gradientu teplot povrchu moře. Z teplé oblasti moře je vzduch přenašen nad oblast chladnou. Tento jev se vyskytuje v oblastech, kde vzájemně hraničí jednotlivé mořské proudy s různými teplotami. Pojem mořská mlha je často zaměňován a sjednocován s mlhou maritimního typu (viz kapitola 6.3.). V pobřežních oblastech, kde se výskyt těchto dvou mlh překrývá, se dají předmětné podtypy jen těžko rozlišit (ČMeS, 2017; Koračin a Dorman, 2017; Bednář a Kopáček, 2019; AMS, 2024).

### **Mlha tropického vzduchu**

Mlha tropického vzduchu se tvoří za podmínek, kdy se velmi vlhký a teplý tropický vzduch přesune do vyšších zeměpisných šířek a tam se při kontaktu s povrchem země ochladí. Nejčastěji se tak děje v chladnější sezóně roku, kdy jsou rozdíly v teplotách mezi zeměpisnými šířkami větší. I přes svůj název se popsáním principem může tvořit mlha nejen v tropických, ale i v mírných zeměpisných šířkách. Vysokou vlhkostí podmíněná stabilita atmosféry tropických vzduchových hmot zajišťuje velkou odolnost mlhy, která může přetrvávat i přes silnější větry (ČMeS, 2017; Bednář, 2019).

#### **6.2.2. Advekce studeného vzduchu nad teplejší vodní povrch**

Mlhy vzniklé advekcí studeného vzduchu nad teplejší vodní povrch zahrnují rovněž dva podtypy, kterými jsou:

- mlha zapříčiněná vypařováním arktických moří,
- mlha zapříčiněná podzimními ranními výpary nad vodními tělesy

Předmětné podtypy vznikají advekcí chladnějšího vzduchu nad teplejší vodní povrch, nad kterým neustává výpar. Voda se vypařuje do vzduchu se stoprocentní relativní vlhkostí, přičemž vzduch již další vlhkost nepojme. Přebytková vlhkost ihned kondenzuje a tvoří mlhu. Výše uvedené podtypy mlh tak na rozdíl od většiny advekčních a radiačních mlh dosahují rosného bodu jiným způsobem, a to vlivem zvyšující se vlhkosti ve vzduchu (Koračin a Dorman, 2017).

### **Mlha zapříčiněná vypařováním arktických moří**

Mlhy zapříčiněné vypařováním arktických moří jsou mlhy malého prostorového rozsahu, které ovlivněny teplotou moří a tvořícími se vzestupnými proudy, jsou i v čase velice pomíjivé. K jejich

delšímu trvání napomáhá teplotní inverze. V arktických oblastech vznikají podél ledů přesunem chladnějšího vzduchu z pevniny nebo ledu nad oceán. Vzduch se neohřívá, avšak přijímá vlhkost z teplého oceánu a rychleji se tak nasytí (Bednář a Kopáček, 2019).

### **Mlhy zapříčiněné podzimními ranními výpary nad vodními tělesy**

Mlhy zapříčiněné podzimními ranními výpary nad vodními tělesy vznikají nad povrchy řek, jezer, rybníků a vnitrozemských moří. Jsou založeny na totožném principu jako mlhy zapříčiněné vypařováním arktických moří (viz odstavec výše). Přesun chladného vzduchu nad teplejší vodní plochu ovlivňuje mimo jiné i sklon pevniny obklopující uvedené vodní masy, kdy po svažitém okraji vodní masy těžší studený vzduch samovolně klesá (Bednář a Kopáček, 2019).

### **6.3. Advekcčně radiační mlhy – mlha kombinovaná**

Advekcčně radiační mlhy vznikají kombinací působení již popsaných jevů (viz kapitola 6.1. a 6.2.). Tedy horizontálním přesunem masy vzduchu nad plochu o rozdílné teplotě a vyzařováním způsobujícím zápornou radiační bilanci. Vlivem uvedených jevů se vzduch ochladí a dochází tak ke kondenzaci a následně ke vzniku mlhy (Bednář a Kopáček, 2019).

### **Maritimní (přímořská, pobřežní) mlha**

Maritimní mlha se objevuje především v zimním období, kdy se vlhký vzduch proudící od moře ochladí od promrzlé pevniny. Ke vzniku maritimní mlhy rovněž přispívá intenzivní vlastní vyzařování ve vzduchu v důsledku velkého obsahu vlhkosti. Tento typ mlhy se tvoří za proměnlivých atmosférických podmínek. Turbulence větru jsou příčinou velkého vertikálního rozsahu mlhy. Mlha vzniklá nad hladinou oceánu může být větrem zanesena do pobřežních oblastí, přičemž tento jev z již popsané klasifikace odpovídá mlze mořské. Proto jsou tyto dva pojmy často zaměňovány nebo sjednocovány pod pojem pobřežní či maritimní mlha (ČMeS, 2017; Koračín a Dorman, 2017; Bednář a Kopáček, 2019).

### **6.4. Frontální mlha**

Frontální mlhy vznikají oběma uvedenými mechanismy (advekcčním i radiačním) při výskytu atmosférické fronty, a to v kteroukoliv denní či roční dobu. Tvoří se uvnitř těsně před nebo těsně za frontálními rozhraními tedy v okolí místa styku vzduchových hmot. Tato mlha jako jedna z mála vzniká zvýšením vlhkosti ve vzduchu, nikoliv ochlazením vzduchu. Její výskyt je přechodný pohybuje se a mění spolu s meteorologickými procesy probíhajícími s frontou. Všechny rozsáhlejší a trvalejší mlhy jsou obsahem kategorie mlhy uvnitř vzduchových hmot, což je podstatné pro vytvoření stálých vztahů s povrchem a ekosystémy, proto se jimi zabývám podrobněji (viz kapitoly 6.1. – 6.3.) (Willett, 1928; ČMeS, 2017; Koračín a Dorman, 2017; Bednář a Kopáček, 2019).

## 6.5. Ostatní dělení mlhy

Jak již bylo uvedeno Willettova klasifikace je založena na způsobu vzniku mlhy a podmínek, za kterých mlha vzniká (viz kap. 6). Obecně tyto procesy nejsou dodnes zcela objasněné a pochopené, proto vznikají v členění a kategorizaci mlh nesrovnalosti. Mnoho autorů se pokoušelo klasifikaci zjednodušit. Například Tardif člení mlhy v New Yorku na 5 typů (advekční mlha, radiační mlha, srážková mlha – obvykle nazývaná spíše frontální, mlha vzniklá poklesem oblaku a ranní mlha vzniklá výparem). Zjednodušení je umožněno i prostřednictvím aplikace na konkrétní lokality a výběrem užšího spektra mechanismu vzniků. Existuje studie navrhuující pro ucelení a upřesnění kategorizace mlh analytickou metodu využívající izotopové složení mlhy. Jedná se o objektivní metodu určení typu mlhy, která je jediná založena na kvantifikaci. Mlhu lze členit například i podle chemického nebo fázového složení, avšak v současnosti nejvíce používané je právě členění Willettovo (ČMeS; Tardif a Rasmussen, 2007; Peréz-Díaz et al., 2017; Kaseke, 2022).

Jako další typ členění lze uvést, členění dle maximální viditelnosti, kdy je mlha členěna na čtyři základní typy (Bednář et al., 1993)

Tabulka 2 - Klasifikace mlhy podle Bednáře, 1993

typ mlhy	maximální viditelnost v metrech
mlha slabá	500 až 1000
mlha mírná	200 až 500
mlha silná	50 až 200
mlha velmi silná	méně než 50 m

## 7. Funkce mlhy

U velké části ekosystémů mlha působí minoritně oproti jiným faktorům, avšak jsou i ekosystémy, jejichž existence by bez mlhy nebyla možná. Zejména v pobřežních, horských a aridních ekosystémech hraje mlha důležitou roli jako přirozená součást chodu prostředí. Mlha je součástí mokré depozice a samočisticího procesu atmosféry. Přenáší tak vodu společně s chemickými látkami přirozeného i antropogenního původu z atmosféry do životního prostředí. V závislosti na povaze a množství látky může tato depozice působit jako živina, polutant anebo obojí, přičemž záleží na kritické zátěži prostředí (CLAD, 2021; Weathers, 1999).

Výskyt mlhy v ekosystémech ovlivňuje rovněž množství dopadajících paprsků a teplotu prostředí, čímž je ovlivněn výpar a transpirace rostlin. Mlha má tak určující význam pro mikroklima prostředí. Omezením dostupnosti světla snižuje míru fotosyntézy a produktivitu celého

ekosystému. Prostřednictvím regulace vodní bilance a teploty je přítomností mlhy také značně ovlivněna dekompozice ekosystému. Mlha působí jak na svrchní patra, a to, když se usazuje v korunách stromů, tak na spodní část porostu, neboť při překročení kapacity listu vlaha stéká do půdy. Mlha a ve vzduchu přítomná vlhkost spolu interagující s elektromagnetickým zářením ovlivňuje nejen mikroklima, nýbrž také globální klimatickou úroveň. (Kerfoot, 1968; Weathers et al., 2020; Box a Box, 2024).

Mlha kromě vlivu na ekosystémy a potenciální mitigace klimatické změny, přináší i přímý užitek člověku, a to jako zdroj pitné vody. Má smysl se jí zabývat rovněž s ohledem na dohlednost, kterou snižuje, a tím negativně ovlivňuje dopravní systémy (Gultepe et al., 2007; Ismail a Go, 2021).

### **7.1. Mlha jako zdroj vlhkosti a pitné vody**

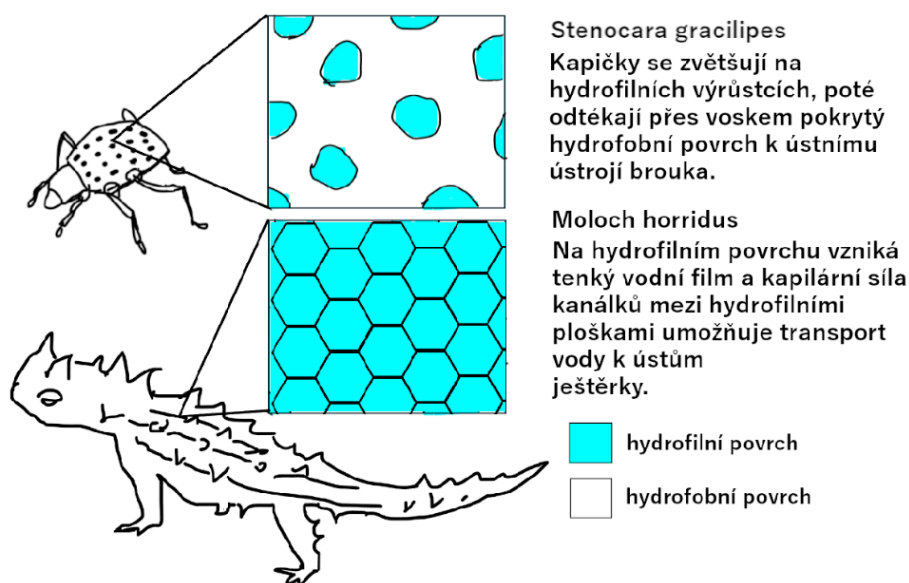
Miliardy lidí po celém světě stále trpí nedostatkem pitné vody. Vodní zdroje jsou znečištěné nebo vysychají. Klimatická změna způsobuje sucha a povodně zanášející zdroje pitné vody. V oblastech jižní Asie, které jsou velmi postižené klimatickou změnou, využívají lidé v boji proti nedostatku pitné vody mlhu jako zdroj. Mlha je skvělým zdrojem pitné vody právě pro aridní oblasti, kde se hojně vyskytuje (Ismail a Go, 2021; UN-Water, 2021; Adeleke a Mnikathi, 2025).

Moderní přístroje pro hospodaření se vzdušnou vlhkostí jsou obvykle inspirované přírodou. Člení se na dva hlavní typy. Prvním z přístrojů je určen pro odchyt mlhy a je tak omezen jejím geografickým výskytem. Druhým typem jsou přístroje pro odchyt rosné vody, jejichž součástí jsou speciální chladící povrchy, na kterých vzdušná vlhkost zkondenzuje, tudíž je lze použít kdekoliv, kde je alespoň minimální vlhkost vzduchu. Mezi organismy, které inspirovaly vědce k vynalezení přístrojů pro záchyt mlhy patří některé specifické druhy živočichů a rostlin obývajících aridní oblasti. Existují brouci, kteří speciálními strukturami na hydrofilních výrůstcích svých krovek nechávají zkondenzovat vodu, která jim skrze okolní voskem pokrytý hydrofobní povrch krovek stéká přímo k ústnímu ústrojí. Efektivita záchytu přístrojů se zvyšuje, pokud se kombinují hydrofilní a hydrofobní povrchy, čehož tyto brouci využívají. Dalším příkladem může být Moloch ostnitý (*Moloch horridus*), který má hydrofilní pokožku, díky čemuž mlha na povrchu těla ještěrky vytvoří vlhký film. Voda přítomná na těle tohoto živočicha je dále odváděna povrchovými kapilárami k ústům ještěrky (viz Obr. 5).

Inspirací vědcům pro sestavení předmětných přístrojů jsou rovněž někteří pavouci, kteří sbírají vodu pomocí svých sítí s hydrofilním povrchem, kdy kapičky stékají po pavoučích sítích a vytvářejí tak větší kapičky v uzlech těchto sítí. U rostlin je přizpůsobení záchytu vzdušné vlhkosti ještě častější než u živočichů. Mezi četné přírodní prvky, které inspirovaly člověka ke konstrukci přístrojů pro záchyt mlhy, patří ostny kaktusovité rostliny *Opuntia microdasys* nebo hydrofilní

listy sloužící jako „kanál“ pro svod vody ke kořenům lipnicovité rostliny *Stipagrostis sabulicola* (Malik et al., 2014; Brown a Bhushan, 2016; Jarimi et al., 2020).

Mlha může být v ekosystémech zdrojem vyvažujícím klimatickou změnou umocněné propasti mezi suchými a dešťovými periodami, a tím přispívat k existenci některých druhů, které potřebují stálý přísun vody. Mlha je intercepce zachytávána na povrchu rostlin. V případě, kdy je překročena kapacita povrchu listu, stéká vláha z listů po stromech až k půdě. Přispět, přesto, že minoritně, může i vlhkost přijatá foliární absorpcí (viz kap. 5.3.). Podíl mlhy na srážkovém úhrnu prostředí a vodní bilance rostliny se velice liší v závislosti na různých typech prostředí s odlišným klimatem a meteorologickými podmínkami, roli hrají rovněž různé metody měření. V různých lokalitách podíl mlhy dosahuje 11 % až 83 % celkové srážkové bilance za rok (Rundel et al., 1991; Dawson, 1998; Bittencourt et al., 2018; Weathers et al., 2020; Yang et al., 2024).



Obrázek 5 - Příklad čerpání vzdušné vlhkosti u živočichů (podle Brown et Bhushan, 2016)

Evapotranspirace<sup>4</sup> představuje velice významný výstup vody v rámci hydrologického cyklu lesa. Jeho hodnota je závislá na meteorologických podmínkách a na vlastnostech lesa. Tím, že je vzduch vlhčí se snižuje vodní potenciál udávaný deficitem vlhkosti v ovzduší, který běžně pohání transpiraci. Snížený potenciál pak může umožnit i zpětný tok a zmíněnou foliární absorpci. Rostliny tak mají tendenci transpirovat méně. Listy jsou ovlhčené a na nich přítomná voda se nevypařuje, neboť vzduch je již parou nasycen. V opačném případě by se mlžná voda deponovaná

<sup>4</sup> Evapotranspirace je výpar z půdního nebo vodního povrchu nezakrytého vegetací tzv. evaporace a výdej vody z vegetace, tzv. transpirace (ČMeS, 2017)

na listech vypařila namísto vody obsažené v těle rostliny. Tímto je opět rostlina chráněna před ztrátou vlhkosti. Mlha tedy působí v ekosystémech na hydrologickou bilanci rostlin i nepřímým způsobem (Hutley et al., 1997; Burgess et al., 2004; Bittencourt et al., 2018; Berry et al., 2019).

## 7.2. Mlha jako zdroj živin

V mlze jsou rozpuštěné ionty jako jsou  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  apod., které mohou být důležité pro růst rostlin. Atmosférická depozice (viz kap.5) nachází pozitivního využití jako zdroj živin zejména v oblastech, kde jsou půdy chudé na pro rostliny limitující živiny. Například na Havajských ostrovech, kde jsou půdy vulkanického původu s malým obsahem biologicky dostupného dusíku, atmosférická depozice velmi přispívá k jeho koncentracím, a tím zvyšuje úživnost půdy. Mlha jako složka tohoto procesu zde tvoří největší proud depozičního toku a zásadní zdroj dusíku pro rostliny. V pobřežních a aridních oblastech se příčinou upwellingu<sup>5</sup> a mořských proudů tvoří mlha, která přenáší živiny z oceánů k užítku rostlinám v terestrických ekosystémech na pobřeží (viz kap. 9.1.). Obecně je v aridních oblastech atmosférická depozice podstatnou součástí biogeochemického cyklu dusíku, a to z důvodu velice chudých půd. Mlha má zde velký význam jako zdroj živin. V těchto oblastech převažuje výskyt mlhy nad deštěm, a tak mlha značně přispívá k již zmíněné atmosférické depozici. Pro představu, v poušti Atacama přináší mlha 10 kg/ha/rok dusíku oproti dešti, u něhož depozice dusíku činí pouze 1 kg/ha/rok (Chadwick et al., 1999; Weathers et al., 2000; Carrillo et al., 2002; Gottlieb et al., 2019).

V oblastech tropických deštných pralesů je mlha důležitým zdrojem fosforu, přičemž mlha deponuje na listech a zvyšuje tak množství dostupného fosforu pro jím limitované ekosystémy. Mlha zde může přispívat až 1,75 kg/ha/rok, což je srovnatelné s přísunem fosforu dešťovou vodou. Koncentrace fosforu v mlze zde vykazovala čtrnáctkrát vyšší hodnoty než celkové srážky spolu s deštěm (Vandecar et al., 2015).

Na druhou stranu mohou tyto dva prvky (dusík a fosfor) v případě nepřírozené koncentrace devastovat unikátní ekosystémy, aniž by přímo působily škodlivě na tkáň organismů a jejich fyziologické procesy. Tyto prvky jsou limitující v mnoha ekosystémech, avšak jejich nepřírozený nadměrný přísun představuje pro daný ekosystém hrozbu. Eutrofizace<sup>6</sup> ekosystému může měnit jeho podstatu a tím snižovat biodiverzitu. Mlha může být zdrojem, dusíku a fosforu, proto k eutrofizaci může potenciálně přispívat (Chuman et al., 2020; Peng et al., 2025).

---

<sup>5</sup> Upwelling – mezinárodně užívané označení pro výstup hlubinné oceánské vody v rámci termohalinní cirkulace (ČMeS, 2017)

<sup>6</sup> Eutrofizace je proces obohacování prostředí o živiny, zejména dusík a fosfor (Kušková, 2003)

V evropských lesích jsou až 90 % iontového složení mlhy nitráty sulfáty a amoniak. Rozdíly koncentrací těchto iontů v mlze oproti dešti může být až 25x větší. Význam mlhy v jehličnatých lesech je opravdu velký a s výskytem advekčních mlh se může zdvojnásobit přísun živin deštěm (Thalmann et al., 2002).

### **7.3. Mlha jako zdroj znečištění se zaměřením na acidifikaci**

Mlha hraje důležitou roli jako zdroj polutantů pro prostředí, ve kterém deponuje. Chemické složení mlhy se odvíjí od v atmosféře dostupných látek (viz kap. 3). Znečišťující charakter má především mlha vznikající v dosahu člověkem vypouštěných emisí. Dálkový transport znečištění způsobuje, že se emise deponují v odlehlých místech, přičemž mohou poškozovat a narušovat přirozený chod prostředí (Unsworth a Wilshaw, 1989).

Mlha je zdrojem toxických látek, případně látek, u kterých je podstatné jejich množství vůči kritické zátěži prostředí. Mezi problematické prvky patří například olovo, kadmium, rtuť. Například v horském lese ve Vermontu v USA byly stanoveny koncentrace rtuti v mlze dvojnásobného množství než v dešti. Depozice rtuti z mlhy zde byla naměřena ve výši škodlivé pro daný ekosystém (Lawson et al., 2003).

Druhou chemickou frakcí, jež by se dala vyčlenit, jsou látky, jejichž škodlivost závisí na koncentraci. Například dusík a síra jsou esenciální živiny rostlin. Jedná se o prvky, bez nichž nemohou rostliny existovat. Pro správné fungování ekosystému jsou tyto dva prvky nezastupitelné. I přesto, že přirozeně se blahobyt ekosystému potýká s nedostatkem dusíku a je jejím výskytem limitován, s příchodem člověka se přísun dusíku do prostředí zvýšil natolik, že přesahuje kritické zátěže některých z nich a dochází k poškozování životního prostředí (Thalmann et al., 2002).

Velkým problémem jsou složky způsobující kyselost mlhy. Obsah  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  a  $\text{NH}_4^+$  je ve velké většině případů určující pro hodnoty pH srážkové vody. Přispět mohou rovněž organické kyseliny jako kyselina mravenčí nebo kyselina octová, které mají vliv zejména v oblastech s malým vstupem znečištění antropogenního původu. Kyselost srážek má negativní dopady na ekosystémy a působí acidifikaci neboli okyselení. Zejména v 70. a 80. letech 20. století se tímto způsobem projevíly emise síry a dusíku ze spalovacích procesů a nadměrnou depozicí bylo potřeba neprodleně umírnit. Na rozdíl od síry, jejíž depozice se od roku 1990 snížily o 93,7 % zavedením odsiřovacích technologií u elektráren, jsme nedokázali zredukovat s takovou účinností (Beláková et al., 2019). V dnešní době není hrozba kyselých dešťů po redukcii tak značná, ačkoliv v některých lokalitách v Evropě jsou tyto procesy v menší míře pozorovatelné. V současné době se daný problém spíše přemístil do rozvíjejících se zemí Asie. Regulace emisí umírnily proces acidifikace,

avšak poškozené lesy a jejich regenerace je velice dlouhodobá záležitost (Weathers et al., 1988; Collett et al., 1990; Schmitz et al., 2019; Du et al., 2025).

Mlha k acidifikaci značně přispívá. Její přirozenost jí předurčuje jako srážku, která bude intenzifikovat negativní působení kyselé depozice na vegetaci. Malá velikost mlžných kapek koreluje s koncentrací chemických látek uvnitř nich, z tohoto důvodu bývá mlha oproti dešti velice koncentrovaná (viz kap.3). Například v USA byly změřeny koncentrace dešťové a oblačné vody, kdy průměrně byla oblačná voda 3 až 7krát koncentrovanější. Jednotlivé události obou přírodních jevů se však koncentrací liší v mnohem větším rozpětí, a to od neznatelných rozdílů po rozdíl dvou řádů (Weathers et al., 1988). Mlha obklopuje vegetaci ze všech stran a je v kontaktu s maximálním povrchem, působí tedy komplexněji a umožňuje delší kontakt s vegetací než dešťové srážky, které ihned stékají. Mlha vzniká blízko povrchu Země, který je zdrojem znečištění, proto v mlze může být podpořen vyšší obsah příměsí oproti dešti, který se formuje výše. Mlha působí ihned v kratším časovém úseku intenzivněji na poškození tkání rostlin, avšak následně rovněž stéká do půdy a společně s deštěm půdu degradují. Předmětný problém přetrvává několik desítek let (Beiderwieden et al., 2005; Fišák a Tesař, 2016; Xu et al., 2018; Chuman et al., 2020; Weathers et al., 2020).

Mlha jako zdroj znečištění působí zejména v různých zalesněných horských oblastech. Náchylnost těchto ekosystémů na kyselou mlžnou depozici je dán hned několika faktory. Vysoká nadmořská výška podporuje hojný výskyt mlhy, kdy je nadmořská výška přímo úměrná k výskytu mlhy. Depozice polutantů prostřednictvím horizontálních srážek ve vyšších nadmořských výškách nad 1000 m. n. m. přesahuje přísun polutantů prostřednictvím deště a suché depozice. Dalším faktorem umocňující škodlivý vliv mlhy v horských lesích je druh vegetace a pokryv vegetací. Jehličnaté stromy jsou dominantou těchto prostředí. Mají značný specifický listový povrch, což rovněž zvyšuje depoziční tok z mlhy. Výpar z kapiček usazených na listech způsobuje, že tyto kapičky jsou ještě koncentrovanější, než byly v atmosféře. Všechny uvedené procesy činí horské lesy velice náchylné na depozici prvků z mlhy, a to ve škodlivé míře (Weathers et al., 1988; Unsworth a Wilshaw, 1989; Thalmann et al., 2002; Lange, 2003; Houry et al., 2023).

Před vznikem odsiřovacích technologií, ubývalo v norských lesích smrku pichlavého (*Picea pungens*) a smrku červeného (*Picea rubens*), a to zejména v oblastech vyšších nadmořských výšek, kde hlavní zdroj chemické depozice a depozice vody tvořila oblačná voda. Bylo zjištěno, že průměrné pH srážek z mlhy je znatelně nižší než z dešťové vody. V této studii je také obsaženo

porovnání chemického složení oblačné vody a throughfallu<sup>7</sup>, kdy throughfall je o jednu třetinu  $\text{NH}_4^+$  ochuzen, a naopak dvojnásobně zvýšen je obsah hlavních kationtů. Hlavní anionty přitom zůstávají v poměrně stejných koncentracích. Čím kyselější je srážka, tím více kationtů vyluhuje přičiňuje se tak na ztrátě živin rostlin. Složení mlhy se tak směrem k nižším patřům lesa mění. Některé rostliny jsou z těchto důvodů mlze přizpůsobené ztloustlou kutikulou (Joslin et al., 1988; Sugden, 1982; Lange, 2003).

#### **7.4. Rozptyl a absorpce elektromagnetického záření**

Mlha se chová podobně jako aerosol, tudíž působí rozptyl a absorpci přicházejícího slunečního záření a ovlivňuje tím radiční bilanci Země. Těmito fyzikálními procesy, které se odehrávají při výskytu mlhy, se kromě radiční bilance v regionálním měřítku mění také složení a množství světla, které je dostupné pro rostliny. Dále dochází ke snížení dohlednosti, což tvoří problém zejména v dopravě (Marley et al., 1993; Gultepe et al., 2007; Koračín a Dorman, 2017).

##### **7.4.1. Dohlednost**

Dohlednost vyhodnocujeme vizuálně nebo přístrojovým měřením. Pokud je dohlednost omezená, avšak větší než 1 km, nejedená se již o mlhu. V Elektronickém meteorologickém slovníku České Meteorologické Společnosti bychom pro tento jev našli pojmenování kouřmo. Dohlednost se snižuje s rostoucí hustotou mlhy, což závisí na rozložení kapiček v prostoru, které je z velké části udáváno množstvím kondenzačních jader. Nej hustší mlhy se tak tvoří často právě v urbanizovaných oblastech, které jsou zdrojem atmosférických znečišťujících aerosolů sloužících jako kondenzační jádra (ČMeS, 2017; Khoury et al., 2023).

Pro oblasti obydlené lidmi, kde bývá výskyt mlhy tedy ještě umocněn přítomností kondenzačních jader, je tento meteorologický jev zdrojem mnoha komplikací ve fungování lidského světa, mimo jiné také snížením dohlednosti. Ekonomické propady způsobené hustou mlhou, která znemožní dopravu silniční, leteckou nebo i lodní, jsou vyčíslené a srovnatelné s ničivými tornády (Gulpe et al., 2007). Nehody při lodní dopravě se často dějí za výskytu maritimní (mořské) mlhy, která riziko nehody zásadně zvyšuje. Ačkoliv se mlha jmenuje maritimní její dopad má přesah až na pevninu, kdy svým výskytem ovlivňuje fungování přístavů a automobilové dopravy na silnicích v přímořských oblastech (Koračín a Dorman, 2017).

Na stanicích měřící množství mlhy nad oceány jsou zaznamenávány často vzestupné trendy oproti mlze tvořící se nad pevninou. Maritimní stanice umístěné nad otevřeným oceánem v severozápadním Atlantiku a severozápadním Pacifiku vykazují vzestupný trend výskytu mlhy

---

<sup>7</sup> Throughfallu jsou pod korunové srážky. Oblačné vody zachycené intercepční a transportované do půdy po povrchu rostlin. (Whitford a Duval, 2020)

nejméně o 12 % od roku 1950, a to během jara, kdy je jejich výskyt častý. Maxima ve výskytu mlhy korelují s minimální teplotou povrchu oceánu. Nad otevřenými oceány roste teplota povrchu a zvyšuje se tak gradient teploty mezi proudem u povrchu oceánu a chladným polárním proudem. Rovněž u pobřeží Severní Ameriky dochází ke zvýšení gradientu mezi proudy, avšak odlišnými mechanismy. Gradient teploty je umocněn silnějším větrem, který pohání upwelling Kalifornského proudu. Mlha se zde od roku 1950 za těchto příznivých podmínek vyskytuje o 7,4 % častěji (Koračín a Dorman, 2017; Samelson, 2021).

Snížená dohlednost v silniční dopravě je velkým problémem. V souvislosti s dopravou je 90 % veškerých informací získáváno vizuálně. V 20 % případů je mlha příčinou dopravních nehod. V 38,3 % případů způsobuje dopravní zácpy a v 23 % případů je příčinou nepravidelných zpoždění v dopravě. Z tohoto důvodu jsou dopravní úseky s hustou mlhou častokrát značené (viz Obr. 6) (Gong et al., 2022).



Obrázek 6 - dopravní značka "mlha" (MD ČR, 2015)

#### 7.4.2. Dostupnost světla

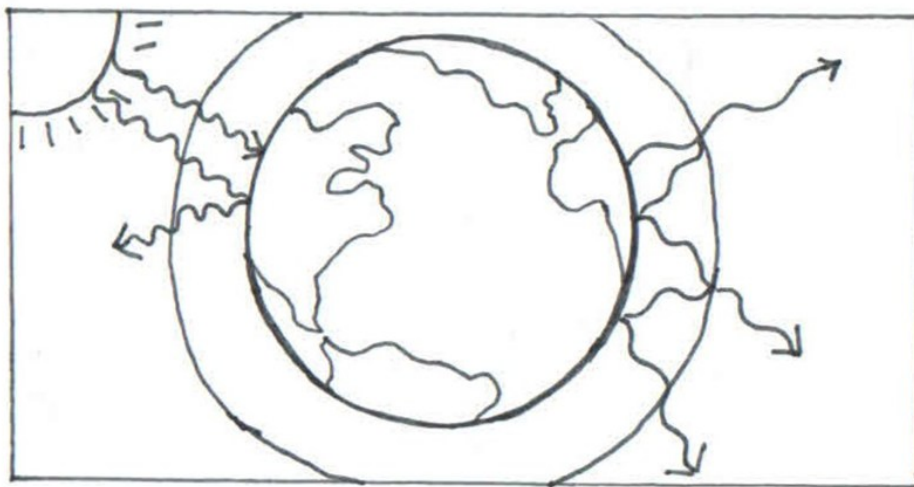
Mlha ovlivňuje dostupnost světla pro rostliny a tím produkci celého ekosystému. Dále také mění jeho spektrální složení a zvyšuje četnost rozptýleného světla. Její přítomností se sníží dostupnost světla. (Bittencourt et al., 2018).

Například v mlžném lese na Kanárských ostrovech byla stanovena redukce světelného záření dostupného pro rostliny vlivem výskytu mlhy průměrně o 75 % (Ritter et al., 2009). Mlha může působit na rostliny různě v závislosti na tom, čím je rostlina limitována. Pokud má rostlina dostatek vlhkosti, mlha zbytečně omezuje produktivitu rostliny snížením slunečního záření. Naopak je-li rostlina vodou limitována, mlha působí blahodárně a přes den a v období sucha snižuje stres z nedostatku vody. Výskyt mlhy zvyšuje podíl rozptýleného záření oproti přímému záření. Rozptýlené záření se dostane snadněji skrze listy a tím hlouběji do koruny. Redukce přímého

záření může předejít poškození listů a fotosystému II<sup>8</sup> nadměrným zářením a nadbytkem energie, kterou již rostlina není schopná využít. Tímto výskyt mlhy chrání rostlinu před fotoinhibicí<sup>9</sup>. Ze studie vyplývá, že dostupnost světla souvisí se stavbou koruny stromů. Například v mlžných lesích je svrchní část koruny hustá a nepropouští přímé záření do svého objemu a tím do spodních pater lesa, přičemž vrchní oblast koruny vystavena přímému záření může být poškozena. Mlha má v případě vystavení rostliny nadměrnému záření pozitivní vliv na produkci rostliny. V případě silného záření byl zisk uhlíku o 22 % vyšší za výskytu mlhy, která záření rozptyluje a fotosyntetická aktivita byla zaznamenána třikrát vyšší, než bez jejího výskytu (Johnson a Smith, 2006; Bittencourt et al., 2018).

#### 7.4.3. Radiační bilance zemského povrchu

Radiační bilance zemského povrchu (viz Obr. 7) je rozdíl mezi přicházejícím zářením a zářením, které směřuje od zemského povrchu, tedy odražené sluneční záření nebo vyzařování zemského povrchu. Radiační bilance zemského povrchu a klima jsou ovlivněny změnou ve výskytu mlhy a některých dalších hydrometeorů a aerosolů. Kromě toho, že některé aerosoly mají přímý vliv na vznik mlhy a slouží jako zdroj kondenzačních jader (viz kap.4.1), mají značný podíl na radiační bilanci a tím působí nepřímo na vznik dalších aerosolů. Ačkoliv ve slovníku ČMeS a obecně v meteorologii jsou oblačné hydrometeory z pojmu atmosférický aerosol vyčleněny, v kontextu klimatické změny a vlivu na globální teploty, mohou spadat do této kategorie, neboť splňují obecnou definici aerosolů, tzn. jsou suspenzí pevných či kapalných částic ve vzduchu. A podobně jako aerosoly jsou důležitými hybateli radiační a tepelné bilance klimatického systému Země. Výskyt oblaků a aerosolů je velice důležitý pro probíhající změny klimatu a jsou dokonce jedním z nejdůležitějších faktorů modelujících klimatickou změnu (ČMeS, 2017; Box a Box, 2024).



Obrázek 7 - Radiační bilance zemského povrchu (vlastní zpracování)

<sup>8</sup> Fotosystém II je enzymatický komplex důležitý pro hromadění protonů pomocí světelné energie (Kutík, 2012)

<sup>9</sup> Fotoinhibice je trvalé snížení účinnosti přeměny sluneční energie na fotosyntézu (Demming-Adams a Adams, 2003)

Vliv aerosolů a hydrometeorů na klima spočívá v jejich schopnosti absorbovat, rozptylovat nebo emitovat záření různých vlnových délek, a tím prostředí oteplovat či ochlazovat. Částice, které spíše rozptylují krátkovlnné záření přicházející ze Slunce a méně absorbují dlouhovlnné záření emitované Zemí, mají chladicí efekt. Částice, které více absorbují dlouhovlnné záření, naopak atmosféru oteplují (Khoury, 2023).

Veličiny albedo<sup>10</sup> a absorpce se slučují a jsou zastoupené ve veličině „single scattering albedo“, což je albedo dělené extinkcí<sup>11</sup>. Hodnota albeda je do jisté míry ovlivněna poměrem velikosti aerosolové částice a vlnové délky záření. Vysoké hodnoty mají aerosoly o velikosti srovnatelné s vlnovou délkou nebo menší. Větší množství aerosolů zvyšuje albedo planety a tím ji ochlazuje, přičemž záleží na koncentraci, velikosti částic a chemickém složení konkrétního typu aerosolu (Marley et al., 1993 Box a Box, 2024).

Vyšší kvalita ovzduší tedy ovlivňuje vznik mlhy a ta následně dohlednost, průchod slunečního záření a tím radiační bilanci oblasti. Čím vyšší je dohlednost, tím více záření dopadá na plochu a ta se více ohřívá. Například ve Francii rozdíl mezi energetickým příjmem záření ze Slunce za přítomnosti mlhy a totožnou situací bez výskytu mlhy za dohlednosti přes 20 km činí 100 W/m<sup>2</sup> (Vautard et al., 2009).

Mlha procesem zvaným scavenging<sup>12</sup> ovlivňuje mikrofyzikální a chemické vlastnosti aerosolů. Snižuje jejich koncentraci v ovzduší a ovlivňuje jejich velikostní rozložení. Dále rovněž snižuje jejich hydroskopicitu, neboť vymývání je selektivní proces zahrnující pouze látky, které lze v kapičkách rozpustit. Dále mlha představuje medium a scavenging umožňuje heterogenní reakce a tvorbu sekundárních aerosolů. Tyto změny ve složení aerosolů mají vliv na jejich funkci v modulaci klimatu a na kvalitu ovzduší (Gilardoni et al., 2014).

## 8. Příčiny ovlivňující změnu výskytu mlhy

Existují dva globálně velice podstatné faktory způsobující snížení výskytu mlhy, a to jsou klimatická změna a přítomnost kondenzačních jader. V poklesu četnosti a intenzity mlhy je oteplení klimatu o 0,1 °C ekvivalentem ke snížení počtu kondenzačních jader o 10 %. Na většině pozorovaných stanic je zaznamenán pokles časového výskytu mlhy nebo snížení intenzity mlžných situací tedy zvýšení dohlednosti (Klemm a Lin, 2016).

---

<sup>10</sup> Albedo je poměr množství záření odraženého vůči dopadlému na určitý povrch (ČMeS, 2017)

<sup>11</sup> Extinkce je zeslabení záření při průchodu prostředím, a to nejčastěji rozptýleného a pohlceného záření (ČMeS, 2017)

<sup>12</sup> Scavenging je odstranění polutantů ze vzduchu; vymývání společně s vypršením (AMS, 2024)

## 8.1. Klimatická změna

Klimatická změna je dlouhodobý trend trvající v řádu desítek let. Tato změna může být indikována zvýšením či snížením průměrných hodnot vlastností klimatu, nebo i ve změně variability vlastností klimatu. Příčinou mohou být podle IPCC<sup>13</sup> přirozené i antropogenní faktory, čímž se definice liší od Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu (UNFCCC)<sup>14</sup>, která daný pojem používá pouze ve významu důsledku lidské činnosti (UNFCCC, 2011).

Klimatická změna ovlivňuje rovněž hydrologický cyklus, jehož velmi důležitou součástí jsou hydrometeory. Tento komplexní systém a jeho komponenty vykazují různorodé role v globálním klimatu. Ačkoliv je vodní pára jedním z nejdůležitějších skleníkových plynů, její přítomnost v atmosféře v různých formách má prostřednictvím rozptylu a absorpce záření přicházejícího ze Slunce zároveň různý efekt na radiační bilanci planety (viz kap. 7.4.3) (Marley et al., 1993).

Vztah kvantity hydrologického cyklu a teploty udává Clausiova–Clapeyronova rovnice. Z té vyplývá, že se množství vodní páry zvýší o 7 % při oteplení o 1 °C, a to při stálé relativní vlhkosti. Oteplení atmosféry způsobené klimatickou změnou zvýší kapacitu vzduchu pro vodní páru. Pokud je v prostředí postrádán zdroj vlhkosti, oteplení sníží relativní vlhkost vzduchu, čímž se zhorší podmínky pro vznik mlhy či se ukrátká její trvání, neboť kapičky mají tendenci se vypařovat. Hodnoty absolutních srážek a tedy vody, která je v oběhu se zvyšují, což způsobí, silnější deště a intenzivnější dešťová období. Na druhou stranu oteplování přináší větší výpar z pevniny, což způsobí intenzivnější suchá období. Klimatická změna činí extrémní události ještě extrémnějšími, a tím zvyšuje závažnost povodní a suchých period (Douville et al., 2021; Khoury, 2023).

Následkem klimatické změny bude v atmosféře cirkulovat více vlhkosti, která je důležitá pro vznik mlhy, avšak v teplejším vzduchu bude obtížnější dosáhnout rosného bodu. Pounds ve své studii upozorňuje na to, že je podstatné se na výskyt mlhy dívat z hlediska různých měřítek. Průměry mohou zastříti vliv klimatické změny na výskyt mlhy, neboť maskují klimatickou změnou způsobené různé extrémní události. Právě denní časový interval se ukázal jako vhodný pro odhalení vlivu klimatické změny na výskyt mlhy, jejíž pravidelnost je pro mlžné lesy velice důležitá (Pounds et al., 1999; Klemm a Lin, 2016).

Globální oteplení povrchu, které je způsobené klimatickou změnou v globálním měřítku, může být dále modifikováno mnoha faktory. Vliv skleníkového efektu jako takového na změnu teploty v regionálním měřítku je na různých místech velmi rozličný a těžko se kvantifikuje. Nelze ho oddělit od procesů, které v návaznosti na způsobené oteplení nastávají a kdy tyto odezvy

---

<sup>13</sup> IPCC je mezivládní panel pro změnu klimatu, orgán OSN zabývající se hodnocením vědeckých poznatků o klimatické změně (IPCC, 2024)

<sup>14</sup> UNFCCC je úmluva o ochraně klimatického systému Země a omezení globálního oteplování (UNFCCC, 1992)

klimatického systému mohou dále trend rostoucí teploty umocňovat nebo naopak tlumit. S ohledem na tuto odezvu klimatického systému a na další disturbance ovlivňující energetické bilance lokality nelze kvůli komplexnosti systému tyto faktory oddělit. Jedině pokud efekt samotné teploty převáží zpětnovazebné mechanismy, je prokazatelná závislost teploty na výskytu mlhy. Existují i lokality, kde klimatická změna skrze další následky způsobuje zvýšenou tvorbu mlhy. Například v Číně v oblasti Pekingu je příčinou častějších oparů i klimatická změna, která mění intenzitu větru (Vautard et al., 2009; Klemm a Lin, 2016; Cai et al., 2017).

## **8.2. Přítomnost kondenzačních jader**

Množství kondenzačních jader jako možný zdroj chemických látek pro mlhu je jedním ze dvou nejdůležitějších hybatelů ve výskytu mlhy. Trendy ve výskytu mlhy mají klesající tendenci zvláště ve vyspělých zemích. Tyto uvědomělé státy ekonomicky schopné řešit problémy životního prostředí se snahou vyvíjet a aplikovat nové technologie svými opatřeními zkvalitňují prostředí pro život. Důležitým odvětvím těchto snah je také kvalita ovzduší, do něhož je vypouštěno čím dál tím méně emisí, a tedy kondenzačních jader. Naopak v zemích rozvojových se vzestupem průmyslového odvětví při absenci monitoringu a kontroly emisí, přibývá kondenzačních jader (Biswas et al., 2008; Han et al., 2015; Klemm a Lin, 2016).

Mnohé studie prokazují, že v Evropě za posledních 30 let mlhy ubylo. Tento trend se přičítá a časově i prostorově odpovídá lepší kvalitě ovzduší, a to zejména poklesu emisí síry. Znečištění ovzduší bylo poměrně rychle zredukováno, tento proces však není nekonečný, a proto znečištění nelze eliminovat zcela. Do budoucna lze předpokládat, že pokles výskytu mlhy vlivem lepší kvality ovzduší nejspíše zpomalí a více se projeví teplotní aspekt vzniku mlhy, přičemž určující budou i jiné environmentální faktory (Vautard et al., 2009; Hůnová et al., 2020).

## **8.3. Ostatní příčiny**

Klima je důležité vnímat rovněž na regionální úrovni. Velký vliv může mít například člověkem podmíněná změna využití zemského povrchu. Ať už se jedná o zemědělské využití nebo zástavbu území či urbanizace měst. Všechny tyto lidské činnosti mohou výskyt mlhy ovlivnit, a to nejen přímo v místě dění, ale také v přilehlých oblastech. Tyto faktory mohou být velice podstatné a jsou též určující pro výsledné teploty v dané lokalitě. V mnoha konkrétních urbanizovaných destinacích mohou mít tepelné ostrovy měst hlavní a rozhodující význam ve sledovaném poklesu výskytu mlh (viz Obr. 8) (Lawton et al., 2001; Tardif a Rasmussen, 2007; Klemm a Lin, 2016).

Z hlediska zvýšených teplot je tedy globální oteplování spolu se stále se rozrůstajícími tepelnými ostrovy měst jednou z hlavních příčin poklesu výskytu mlhy. Například v Kalifornii tepelné ostrovy zvyšují základny oblaků a podstatně snižují výskyt mlhy (Belorid et al., 2015; Williams et al., 2015; Khoury, 2023).

Výskyt mlhy v městských oblastech je chápán negativně, negativním jevem je však i fakt, že tato změna způsobí pokles v tvorbě mlhy i v přilehlých oblastech, kde mlha může zastávat cennou důležitou funkci. Stejně tak zemědělský zásah do krajiny ovlivní výskyt mlhy, například vytvoření holiny pro zemědělské účely namísto existence lesa zásadně změní energetickou bilanci prostoru a množství vlhkosti, a to z již popsaného důvodu. Vegetace zadržuje vodu v půdě i ve svých tělech a evapotranspirace je velice důležitým nástrojem termoregulace ekosystému (Lawton et al., 2001).



Obrázek 8 - Tepelný ostrov města (vlastní zpracování)

## 9. Následky změn ve výskytu mlhy ve vybraných ekosystémech

Vývoj změn ve výskytu mlhy je do budoucna nejistý, avšak je jasné, že nejvíce budou postiženy oblasti na mlze závislé, tedy oblasti, které jsou nejvíce ohrožené klimatickou změnou, a těmi jsou aridní oblasti, pobřežní ekosystémy a horské mlžné lesy (Mitchell et al., 2020).

Mlha je určující faktor pro existenci mnoha vzácných endemických druhů a celých společenstev s obrovskou biodiverzitou. V oblastech se vzácnými druhy, které jsou adaptované na výskyt mlhy, může mít trend úbytku mlhy vliv na oblast jejich výskytu. Pokud tyto druhy nebudou schopné změnit své geografické rozšíření, úbytek mlhy může ovlivnit jejich blahobyt, početnost jejich

populace a v nejhorším možném případě i jejich existenci jako druhu, tedy způsobit jejich extinkci<sup>15</sup> (Pounds et al., 1999; Lawton et al., 2001; Lawton et al., 2001; Oliveira et al., 2014).

Studium mlhy v ekosystémech na ní závislých by nám dopomohla pochopit zde probíhající hydrologické cykly a možnost adaptace společenstev těchto ekosystémů na postupující klimatickou změnu (Bittencourt et al., 2018).

### **9.1. Pobřežní a aridní ekosystémy**

Klimatická změna v pobřežních ekosystémech na výskyt mlhy působí především nepřímým způsobem. Klimatická změna má vliv na fyzikální procesy podmiňující výskyt mlhy, která pak působí na dané ekosystémy a mlha je tak důležitým prostředníkem mezi klimatickou změnou a ekosystémem. Mlha je komplexním ukazatelem, přičemž se statisticky projevila největší závislost změn výskytu mlhy na fyzikálních procesech odehrávajících se v regionálním měřítku. Jsou jimi zejména změna v proudění větru související s upwellingem a dekadní oscilace teplot oceánů (Johnstone a Dawson, 2010; Dye et al., 2024).

Západní pobřeží kontinentů jsou velmi často vystavena mlze, která je definuje a je typickou a nepostradatelnou součástí jejich existence. Vyskytuje se ve zvýšené míře v období sucha, kdy je také umocněn její význam, neboť je v tomto období snížen výskyt jiných zdrojů vlhkosti. Jedná se o západní pobřeží Severní i Jižní Ameriky, jihu Afriky a jihu Evropy. Tyto oblasti vznikly díky subsidenčním větrům subtropických anticyklón Hadleyho buňky<sup>16</sup>, které utvářejí pobřežní proudění směrem k rovníku a tím pohánějí mořské proudy a umožňují upwelling. (Johnston a Dawson, 2010; Dye et al., 2024;).

#### **9.1.1. Typy a procesy vzniku mlhy**

Nejčastěji v těchto oblastech vzniká maritimní mlha (viz kap. 6.3), a to v noci v letním období, kdy z Tichého oceánu přichází vlhký teplý vzduch nad radiací ochlazenou pevninu. Zásadní je zde výskyt také mlhy mořského typu vznikající nad mořem díky studenému proudu, ta může být advekčními pohyby přesunuta nad pevninu. Tyto studené proudy přenášejí studenou vodu z polárních oblastí směrem k rovníkům, jedná se o Kalifornský proud podél západního pobřeží Severní Ameriky, Peruánský proud v Jižní Americe a Benguelský proud v jižní Africe. (Burgess et al., 2004; Emery, 2016; ČMeS, 2017)

---

<sup>15</sup> Extinkce je konec existence určitého biologického taxonu, vymření druhu (Wiens et al., 2020)

<sup>16</sup> Hadlyho buňka je jedna ze tří buněk modelu cirkulace. Nachází se v pásmu mezi rovníkem a 30° zeměp. šířky. Je to idealizace pasátové cirkulace bez uvažování její zonální složky a sezonních výkyvů (ČMeS, 2017)

Kromě výskytu mlhy pocházející od moře je také hojný výskyt mlhy, která pro níže položené oblasti původně představuje oblak typu stratus a následně může klesnout. Radiační procesy zde hrají důležitou roli při délce setrvání vzniklé mlhy, kdy svrchní vrstva mlžného oblaku je radiací ochlazována a vytváří se tak inverzní zvrstvení, které velmi napomáhá stabilitě mlhy (Leipper, 1994).

Mlha se ve výše uvedených oblastech tedy může tvořit dvěma hlavními mechanismy, kdy se vlhký vzduch od moře ochladí od studeného povrchu až na rosný bod nebo oblačnost typu stratus sesedá až se dostane do kontaktu s povrchem Země. Tyto dva typy se liší synoptickými podmínkami, způsobem, kterým se mění jejich rozsah a sezónou výskytu. Na pobřeží Severní Ameriky převládá první z mechanismů, ale globálně chybí data, a tak nelze říct, který mechanismus je významnější (Samelson et al., 2024).

### 9.1.2. Studie a klimatologie

Existuje mnoho studií z lokalit stejného typu, jejichž závěry se různí. Jako příklad lze uvést studie z podobných lokalit okolí Los Angeles sledující výskyt mlhy od roku 1950 s naprosto odlišnými závěry. Jedna studie zaznamenala jen neznatelný pokles mlhy, pravděpodobně důsledkem Pacifické dekadní oscilace, přičemž druhá studie zaznamenala naprosté vymizení mlhy, a to pravděpodobně důsledkem posunu základny oblaku. Johnston a Dawson ve své studii uvedli, že od počátku 20. století poklesl výskyt mlhy na západním pobřeží Severní Ameriky o 33 %. V diskusi uvedli jako možnou příčinu tohoto poklesu zejména oslabení přirozených subsidenčních proudění a větrů, které pohánějí upwelling nebo méně výrazné inverze. K tomuto stanovení byl použit index maximální teploty na pevnině během dne. Koračín a Dorman odhalují možné teoretické nedostatky této úvahy a možného závěru a uvádějí, že mlha tvořící se nad pevninou může být tvořena druhým mechanismem, a to oblačností typu stratus. Apelují na skutečnost, že je nutné tyto dva procesy vzniku mlhy od sebe odlišovat, neboť mlhy vzniklé různými procesy mají na klima reakci odlišnou. Daný pokles ve výskytu je může být dán změnou výskytu mlhy v prostoru, kdy oteplení způsobuje zvýšení oblačné základny, jelikož existují doklady, že upwelling a větry, které ho pohánějí jsou spíše intenzifikované, a to příčinou klimatickou změny. Oproti předchozím studiím, nejnovější studie četnosti výskytu mlhy na západním pobřeží Severní Ameriky neodhalila významný trend ve změnách výskytu mlhy od roku 2000-2020 (Snyder et al., 2003; Johnstone a Dawson, 2010; Williams et al., 2015; Xiu et al., 2018; Werner et al., 2020).

Modely, zabývající se budoucností predikují nárůst mlžných epizod. Oteplení umocňuje proudění větru a zvyšuje gradient mezi zmíněnými mořskými masami větším ohřevem svrchních vrstev,

avšak pokud by bylo oteplení intenzivnější a pronikalo skrze povrch oceánu do oblastí výskytu studeného proudu, došlo by spíše k redukci mlhy. Tato varianta je ale spíše teoretická, neboť modely ukazují, že za posledních třicet let došlo k intenzifikaci upwellingu, a to změnou intenzity větrů, ohřevem svrchních vrstev a lepší stratifikací. Možnou příčinou je také skleníkový efekt, což je ale velice špatně dokazatelné a lze toto tvrzení brát jako spekulaci. Vyšší upwelling může zvýšit výskyt mlhy a transport do terestrických ekosystémů zejména v letních měsících, kdy je ekosystém limitován vodou. Celý proces poháněn urychlením větrů v regionálním měřítku tak zvyšuje výskyt mlhy v této oblasti, což může zvýšit produkci a blahobyt ekosystému. Systém také nejspíš bude schopen vyvažovat ohřívání oceánů vlivem klimatické změny (Snyder et al., 2003; Xiu et al., 2018; Samelson, 2021).

## **9.2. Horské mlžné lesy**

Horské mlžné lesy jsou oblasti s velmi vysokou vzdušnou vlhkostí, která často přechází ke vzniku mlhy. V rámci těchto ekosystémů rozlišujeme oblasti vykazující podobné parametry jako je teplota, rozložení vlhkosti, druhová skladba, pokrytí povrchu mechem, výška stromů atd. Nadmořská výška, která by zdánlivě mohla být ideální ke kategorizaci a k prostorovému vyčlenění těchto odlišných podtypů mlžných lesů, se velice liší v závislosti na kontinentalitě oblasti a vzdálenosti od rovníku. Geografický výskyt ekosystému udává nadmořskou výšku rosného bodu v závislosti na vlhkosti vzduchu a teplotě (Bruijnzeel et al., 2011).

Klimatická změna a oteplení povrchu v těchto oblastech způsobují posun oblačné základny do vyšších nadmořských výšek, čímž se zásadně mění charakter prostředí předmětné oblasti. Je zde možná migrace různých živočišných druhů za vhodnými podmínkami. Záleží, zda je rychlost migrace druhu dostatečná na to, aby přesunu čelila. Modely dalšího úbytku mlhy do budoucna spolu nesou úbytek některých druhů vegetace i druhů živočichů (Pounds et al., 1999).

### **9.2.1. Typy a procesy vzniku mlhy**

Pro vznik mlhy je kromě teploty a vlhkosti vzduchu proudícího z nižších oblastí, kdy je výhodou blízkost oceánu dodávající vlhkost, velice podstatné proudění vzduchu, které advekcí nechá vlhký vzduch vystoupat a dá tak vznik orografické mlže (viz kap. 6.2). Vegetace ve vysoko položených ekosystémech jsou uzpůsobené čerpání vlhkosti ze vzduchu intercepce, což v těchto ekosystémech tvoří hlavní způsob depozičního toku. Mlžné lesy jsou oblasti, kde je mlha častým jevem a k rozsáhlosti jejího impaktu na prostředí přispívají, kromě častého výskytu, i další podmínky prostředí. Těmi jsou vysoká rychlost větru, geografie terénu a typicky vysoký index listové plochy spolu s dalšími adaptacemi rostlin (Pounds et al., 1999; Selma et al., 2022).

### 9.2.2. Studie a klimatologie

Z důvodu vysoké vzdušné vlhkosti a špatné dostupnosti byly od člověka a lidského vlivu tyto ekosystémy dlouho naprosto odpoutané. S probíhající klimatickou změnou, regionálně umocněnou kácením přilehlých nížinných tropických lesů, se nyní základny mlžných oblaků posouvají vzhůru a v některých mlžných lesích bude v budoucnu prohlouben deficit vody (Lawton et al., 2001).

Tento fakt znamená skutečnou hrozbu pro rostliny daných ekosystémů, z nichž většina druhů je špatně uzpůsobena suchu. Přítomnost mlhy umírňuje stres rostlin ze sucha a potřeba rostlin vypořádat se se suchem, která s klimatickou změnou vrůstá, činí rostlinám velké obtíže (Oliveira et al., 2014).

Vyšší teploty povrchu oceánu způsobené globálními klimatickými změnami zvyšují výpar z povrchu, při kterém je uvolňováno latentní teplo do atmosféry. Vodní pára obsažená ve stále teplejším vzduchu proudícím od moře způsobuje, že teplota klesá vlhkým adiabatickým gradientem<sup>17</sup> a tedy pomaleji. Tento jev činí postupem času nížiny relativně chladnější oproti horským oblastem. Oteplování povrchu oceánu dále způsobuje urychlení hydrologického cyklu v ekosystému, a tak se prodlužují období sucha a snižuje se množství mlhy. V suchých obdobích jsou rostliny zvyklé s mlhou hospodařit a velmi spoléhají na tento zdroj vlhkosti. Mlha je nesporně faktorem ovlivňující a podmiňující existenci horských mlžných lesů a geografický výskyt druhů organismů v tomto ekosystému. Větší výška výskytu základny mlžného oblaku koreluje s výskytem na ní závislých organismů, jakožto i možných ekosystémových inženýrů<sup>18</sup> podněcujících výskyt dalších a dalších druhů. Druhy z nižších oblastí migrují výš za příznivějšími podmínkami, pokud je jejich migrační rychlost dostatečná. Scénář dvojnásobného obsahu CO<sub>2</sub> oproti předindustriální době tedy s přibližně 560 ppm CO<sub>2</sub> v atmosféře v oblasti mlžného lesa Montverde naznačuje, že by se výška oblačnosti v zimě, kdy je suché období s větším významem mlhy jako zdroje, posunula vzhůru o 200 metrů (Pounds et al., 1999; Still et al., 1999).

V důsledku posunu základny orograficky vznikajících oblačností a zvýšené evapotranspiraci způsobené klimatickou změnou čelí mlžné lesy jednak měnícím se mikroklimatickým podmínkám, ale také invazím druhů z nižších oblastí, pro které se stávají původně mlžné lesy stále příhodnějšími. Například z druhů ptáků, které ve studii z oblasti mlžného lesa Montverde byly rozdělené do dvou kategorií, vykazovaly vzestupnou tendenci výskytu druhy, spadající do

---

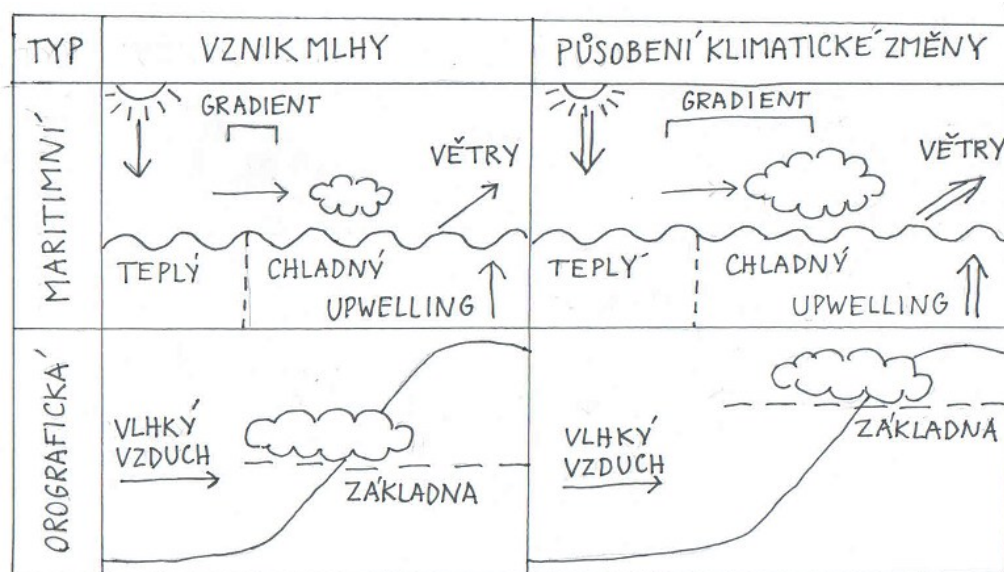
<sup>17</sup> Vlhký adiabatický gradient je teplotní gradient záporné změny teploty při adiabatické vzestupu částice ve vlhkém nasyceném vzduchu – definice podle světové literatury, jiný význam v českém názvosloví (AMS, 2024, ČMeS, 2017)

<sup>18</sup> Ekosystémový inženýr jsou druhy živočichů, které aktivně mění své prostředí a tím ovlivňují podmínky pro ostatní organismy (Montefalcone et al., 2011)

kategorie intolerantních druhů pro mlžné lesy. Zatímco počet původních druhů ptáků mlžného lesa zůstal stejný. Z dlouhodobých studií vyplývá, že právě vlhkost a index suchých dnů jsou nejlepšími prediktory v posunu výskytu ptačích druhů (Pounds et al., 1999).

Pro stanovení dlouhodobých trendů mlhy v mlžných lesích je použit negativní index suchých dnů. Čím větší je počet suchých dnů, tím je mlhy méně. Předmětná metoda nevypovídá nic o absolutních hodnotách a množství mlhy může být podhodnocené, neboť srážkoměry nejsou schopné zachytit vlhkost unášenou větrem. Při dlouhodobém sběru dat hodnoty přispívají k určení změny ve výskytu mlhy, kdy je porovnáván současný výskyt mlhy relativně vůči předchozím rokům. Podle tohoto indexu mlhy v mlžných lesích na území Kostariky ubývá, což je v souladu s dříve popsávanými procesy zvyšování oblačné základny (Pounds et al., 1999).

Podobně jako změna v chování ptáků, je zaznamenána i změna v chování plazů a obojživelníků, která má spojitost s klimatickou změnou, přesto, že se jedná o chování odlišné. Obojživelníci z důvodu sucha začali vyhledávat vodopády a toky řek, nejspíše proto, že nejsou schopni tak, jako ptáci, migrovat vzhůru za posouvajícími se oblačnými pásy. Uvedený jev a nevhodné podmínky prostředí mají za následek oslabení a zvýšenou náchylnost těchto obojživelníků pro napadení parazity. Shromažďování u vodních zdrojů navíc přispívá k rychlejšímu šíření parazitů, což zapříčinilo masivní úhyn některých druhů žab. Z dané oblasti mizí rovněž celé populace ještěrek a jiných obojživelníků. Přibližně 20 z 50 druhů žab a ropuch zahrnující i jedinečné endemické druhy jako například Ropuchu zlatou (*Bufo periglenes*) v důsledku posunu oblačné základny vymizelo (Stewart, 1995; Pounds et al., 1999).



Obrázek 9 - Působení klimatické změny na vznik mlhy (vlastní zpracování)

## 10. Příklady ekosystémů závislých na mlze

Následující kapitola uvádí příklady ekosystémů, v nichž je mlha nezastupitelným přírodním jevem a její existence je pro níže uvedené oblasti limitující.

### 10.1. Západní pobřeží Severní Ameriky

Severní Amerika a sekvojové lesy v Kalifornii jsou ekosystémy, které mohou být až 60 dní v roce skryté pod hustou mlhou maritimního typu. Byly zde zjištěny značné rozdíly v adaptaci rostlinných druhů na klima. Opadavé keřovité rostliny profitují z nočního výskytu mlhy více než stálezelené keřovité rostliny, čímž se stávají konkurenceschopnými stálezeleným rostlinám. Klimatické změny společně se snížením výskytu mlh mohou způsobit právě nedostatečnou konkurenceschopnost opadavých rostlin, a tak ovlivnit druhové společenství a výskyt zdejších ekosystémů. Příkladem druhu opadavých keřovitých rostlin profitujících z mlhy jsou šalvěj bělolistá (*Salvia leucophylla*) a pelyněk kalifornský (*Artemisia californica*) (Emery, 2016).

Dominantou tohoto prostředí jsou populace druhu Sekvoje vždyzelené (*Sequoia sempervirens*). I přesto, že foliárním tokem skrze stomata jsou přijímána velice malá množství mlžné vody, mlha snižuje evapotranspiraci sekvojí v suchých obdobích a intercepce zachycená mlha stéká následně do půdy, kde tvoří zdroj i pro ostatní druhy rostlin. Až 80 % zde se vyskytujících druhů rostlin využívají popsaných mechanismů (Dawson, 1998). Sekvoje mají jen velice malou schopnost reagovat na nedostatek vláhy ovládním průduchů (stomat). Mlha svým výskytem zmírňuje dopady tohoto nedostatku. Vlhkost v ovzduší tak přispívá ke stabilitě vodní bilance, což umožňuje fixaci uhlíku rychlostí spojenou s vysokým vzrůstem tohoto druhu (Burgess et al., 2004).

V letních měsících, kdy jsou dešťové srážky omezené a výskyt mlhy stále konzistentní, může podíl mlhy na vodní bilanci u mnoha druhů rostlin vzrůst. I meziroční hodnoty podílu mlhy jako zdroje vlhkosti vzrůstají, pokud je rok sušší (Dawson, 1998).

### 10.2. Západní pobřeží Jižní Ameriky

Stěžejní pro tvorbu mlhy v této oblasti je pohoří Andy, kde vzniká orografická mlha jako významný zdroj vláhy pro vegetaci. Vlhký vzduch může migrovat i hlouběji do vnitrozemí, pokud proudí přes oblasti, kde je hřeben hor nižší. Tímto způsobem vznikají oblasti izolované od jinak hyperaridního prostředí, které jsou příhodné pro výskyt některých rostlin čerpajících vzdušnou vlhkost. Tyto ostrůvky života se nazývají „lomas“ (Rundel et al., 1991; Pinto et al., 2006).

Zónu, ve které se vyskytuje mlha, lze rozčlenit do několika výškových pásem s charakteristickým výskytem určitých druhů. Z čeledi broméliovité (Bromeliaceae) zde rostou v Peru druhy rodu *Tillandsia* a v Chile rodu *Puya*, které využívají mlžné zóny zejména v nižších nadmořských

výškách. Směrem vzhůru v nadmořské výšce 400–600 m. n. m. se začínají vyskytovat pryšce z čeledi pryšcovité (Euphorbiaceae). Z čeledi kaktusovité (Cactaceae) jsou známy svým výskytem především rody *Eulychnia* rostoucí po celé délce mlžného pásma a rody *Copiapoa* rostoucí pod a nad mlžným pásmem (Rundel et al., 1991).

Výskyt rostlin závisí také na zeměpisné šířce. Například v Chile je rostlinná skladba tvořena převážně z keřovitých rostlin, oproti tomu v Peru je druhové složení „lomas“ mnohem rozmanitější. Rundel uvádí jako možný důvod větší rozmanitosti rostlin oproti Chile pravidelnější výskyt mlhy. Výskyt rostliny *Puya boliviensis* byl pozorován právě v místech bohatých na mlžné srážky z oceánu. Endemickým a kriticky ohroženým druhem daného území je *Tillandsia tragophoba*, která svým vzezřením a typickým uspořádáním listů utvářejícím „nádržky na vodu“ velice připomíná broméliovité rostliny z deštných pralesů (viz Obr.11) (Rundel et al., 1991; Zizka et al., 2009).

Poušť Atacama a Peruánská poušť jsou místy, kde je mlha rovněž nejdůležitějším zdrojem vody. Mlha je v této oblasti tak častá, že má své speciální názvy. V Peru se nazývá „garúa“ a v Chile „camanchaca“. Mlha do této oblasti přináší množství dusíku a jiných živin pro ekosystém a představuje tak v koloběhu dusíku velice podstatný zdroj pro organismy. Její podíl na příspěvku atmosférické depozice k nutriční bilanci rostlin oproti dešti je kromě jejího častého výskytu v této lokalitě umocněn také tím, že je mlha obecně mnohem koncentrovanější než dešťová voda. Měření v této oblasti odhalilo, že je v ní zastoupeno až osmdesátkrát více dusíku ve formě iontů  $\text{NH}_4^+$  než v dešťové vodě. Byl zde změřen 66 % podíl organického dusíku na celkové mokré depozici, na rozdíl od osídlené oblasti, kde převládal anorganický dusík. Mlha formující se nad oceány obsahuje více organického dusíku a za rok obohatí ekosystémy o 9 kg/ha organického dusíku a 2 kg/ha anorganického dusíku. Dešťová voda oproti tomu přináší ročně pouze 1 kg /ha anorganického dusíku (Weathers et al., 1988; Rundel et al., 1991; Weathers a Likens, 1997; Weathers et al., 2000; Weathers et al., 2020).

### 10.3. Západní pobřeží jihu Afriky

Jihozápadní pobřeží Afriky pokryté Namibijskou pouští je hyperaridním prostředím. Až 92 % vlhkosti v poušti Namib pochází z mlhy. Typicky se zde vyskytují radiační mlhy nebo mlhy mořského typu, a to z důvodu působení chladného Benguelského proudu. Časté jsou zde mlžné epizody během noci, které mají kladný vliv na blahobyt rostlin (Burgess et al., 2004; Gottlieb et al., 2019; Kaseke a Wang, 2022).

V této lokalitě existuje 48 popsaných druhů organismů, které čerpají vlhkost přímo ze vzduchu. Tento jev probíhá dvěma způsoby. Organismy vlhkost přijímají ve formě páry, což se týká menších

živočichů, kteří nejsou schopni překonat povrchové napětí vody. Druhou možností, týkající se větších živočichů, je příjem vlhkosti ve formě kapiček, k čemuž si pomáhají kombinací hydrofilních a hydrofobních povrchu s různými výrůstky. Například pro endemický druh traviny *Stipagrostis sabulicola* je podstatným zdrojem vlhkosti zkondenzovaná mlha, kterou poté, co steče z jejích listů, absorbuje kořenovým systémem. Dále zde například žije pět druhů brouků, kteří umí zachytávat vzdušnou vlhkost. Rekordman v záchytu vzdušné vlhkosti je *Stenocara gracilipes* (Ebner et al., 2011; Malik et al., 2014; Mitchell et al., 2020).

Čeď Crassulaceae k pouštním oblastem neodmyslitelně patří. Tyto xerofytní rostliny absorbují skrze hydatody vzdušnou vlhkost během noci. Mnoho růžicovitě rostoucích sukulentů se zde vyskytuje v pásech, které odpovídají pásům výskytu mlhy aridních oblastí. Tyto druhy mohou celý svůj hydrologický příjem nahradit srážkami z mlhy, jejichž podíl se pohybuje mezi 10 a 100 % celkových srážek. Podobným způsobem, a to do podoby sukulentů s růžicovitým uspořádáním listů, se vyvinuly rostliny různých čeledí. Jedná se o zástupce čeledí agávovitě (*Agavaceae*), konvalinkovitě (*Nolinaceae*), broméliovitě (*Bromeliaceae*), tlusticovitě (*Crassulaceae*). Růžicovité uspořádání je činí velice úspěšnými v intercepci mlhy a nasměrování jejího toku k vlastním kořenům (Martotell a Ezurre, 2002).



Obrázek 10 - *Echeveria subsessilis* (vlastní zpracování)



Obrázek 11 - *Tillandsia usneoides* (zdroj vlastní)

#### 10.4. Horský mlžný les v Kostarice

Horský mlžný les Montverde v Kostarice je unikátní ekosystém, přičemž kombinace jedinečných podmínek zapříčinila vývoj a existenci jedinečného druhového složení daného ekosystému s vysokou biodiverzitou a mírou endemismu (Oliveira et al., 2014; Lawton et al., 2001).

Oblast lesa Montverde je ideální pro studium vlivů klimatické změny, neboť zde neprobíhá deforestace a zásahy způsobené lidským faktorem, přičemž toto tedy neovlivňuje klima prostředí a migraci živočišných druhů (Pounds et al., 1999).

Stromy v tomto mlžném lese jsou svou fyziologií uzpůsobené častému vlhku. Jejich těla jsou statná a malého vzrůstu. Listy jsou malé, sklerofylní<sup>19</sup> a uspořádané šikmo. Stromy jsou často uzpůsobené čerpání vzdušné vlhkosti a vykazují nízkou míru fotosyntézy (Bittencourt et al., 2018).

Spolu s výskytem nejprve nepravidelných, po té vytrvalých mlžných situací, se mění druhová skladba. Stromy, které dříve byly podporou pro liánovité rostliny, se stávají substrátem pro epifytní rostliny a mechy. V nižších oblastech jsou kmeny pokryty mechy přibližně z 10 %. S rostoucí nadmořskou výškou může být dosaženo pokryvnosti kmenů až 75 % (Bruijnzeel et al., 2011).

Mlha slouží jako zdroj vláhy pro daný ekosystém. Celý ekosystém však může být uzpůsoben pro zachyt vody z níž to, co se nevypaří a není využito rostlinami, z této lokality odtéká do níže položených oblastí chudších na srážky. Tuto roli zastávají i některé lokality mlžných lesů v Brazílii, kde dostupnost vody nejen pro lesy, ale i pro přilehlé nížiny, závisí do určité míry na výskytu mlhy právě ve výše položených mlžných lesích (Lawton et al., 2001; Bittencourt et al., 2018).



Obrázek 12 - *Pharomachrus mocinno*, symbol stredoamerických mlžných lesů  
(vlastní zpracování)

<sup>19</sup> Sklerofylní jsou xeromorfní listy kožovité a ztlustlé (Wiltshire, 2004)

## 11. Závěr

Tato bakalářská práce se věnuje hlavním faktorům, které z dlouhodobého hlediska ovlivňují výskyt mlhy a dále významu mlhy pro různé ekosystémy. Na základě rešerše odborné literatury je možné konstatovat, že zásadní vliv na výskyt mlhy mají dva hlavní faktory. Prvním z nich je klimatická změna, která ovlivňuje výskyt mlhy prostřednictvím mnoha procesů. Rostoucí teplota vzduchu, tak jak se projevuje v řadě světových regionů, snižuje relativní vlhkost ovzduší a obecně vede k navození sucha v krajině, ztěžuje dosažení rosného bodu, a komplikuje tak vznik mlhy. Nicméně nezanedbatelné jsou při vzniku mlhy i četné faktory lokální, včetně vlivu terénu, přítomnosti vegetace, zejména lesa, a samozřejmě přítomnost vody. Druhým z hlavních faktorů ovlivňující dlouhodobý trend výskytu mlhy je přítomnost kondenzačních jader, kde dominuje jednoduchá závislost, neboť kondenzační jádra jsou jednou ze zásadních podmínek vzniku mlhy.

Co se týká vlivu mlhy na ekosystémy, lze konstatovat, že mlha v různých ekosystémech plní rozmanité funkce, které v některých z nich mají zásadní význam, přičemž v jiných je tento význam zanedbatelný. V bakalářské práci jsem se zaměřila na ekosystémy, které jsou na mlze přímo závislé a které by bez vlivu mlhy nebyly schopné své existence. Mlha zde tvoří velice důležitý zdroj vody a živin. Jedná se o ekosystémy pobřežní, aridní a horské mlžné lesy. Na druhou stranu však mlha hraje důležitou roli při depozici v atmosféře obsažených znečišťujících látek do prostředí, přičemž velmi sensitivní jsou v tomto ohledu horské lesy.

Mlhu je potřeba studovat rovněž z důvodu jejího vlivu na klimatickou změnu, neboť mlha a klimatická změna spolu interagují navzájem. Mlha je v tomto případě problematickým faktorem, který významně komplikuje modely klimatické změny. Z uvedeného důvodu by měla být věnována větší pozornost souvztažnosti těchto dvou faktorů. Data získaná z jednotlivých modelů, mohou být zkreslena přílišnou generalizací vstupních dat. Mlha vzniká rozmanitými způsoby a je tedy potřeba její vznik a výskyt modelovat v podrobnějších měřících. Výzkumu mlhy bychom vždy měli uvažovat relativně k určité lokalitě a času, protože mlha je v čase velmi proměnlivá.

## Seznam literatury

- Adeleke A., Mnikathi S., 2025. Suitable sites for fog water collection in Cape Town, South Africa. *Sustainable Water Resources Management*, 1-18.
- Allaby M., 2008. *A Dictionary of Earth Sciences*. Oxford University Press. Oxford Reference, Fog. Online <https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/oi/authority.20110803095826221>. [cit 23.04.2025].
- American Meteorological Society (AMS), 2024. Glossary of meteorology. Online. <https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/publications/glossary-of-meteorology/> [cit 4.11.2024].
- Bednář J., Černava S., Flux J., Frühbauer J., Gottwald A., Hodan L., Jurkovič P., 1993. *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Academia a MŽP ČR, Praha, 594 s.
- Bednář J., Kopáček J., 2019. *Jak vzniká počasí*. Druhé vydání. Vydala Univerzita Karlova. Nakladatelství Karolinum, Praha, 226 s. ISBN 978-80-246-4424-0.
- Beiderwieden E., Wrzesinsky T., Klemm O., 2005. Chemical characterization of fog and rain water collected at the eastern Andes cordillera. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9, 185–191.
- Beláková K., Dvořáková I., Dvořan V., Hnilicová H., Machálek P., Šmejdiřová J., Dědina M. et al., 2019. Česká zpráva o emisní inventuře za rok 2019. Český hydrometeorologický ústav, 1-107.
- Belorid M., Bum Lee Ch., Kim J., CheonT., 2015. Distribution and long-term trends in various fog types over South Korea. *Theoretical and Applied Climatology* 122, 699-710.
- Berry Z. C., Emery N. C., Gotsch S. G., Goldsmith G. R., 2019. Foliar water uptake: Processes, pathways, and integration into plant water budgets. *Plant Cell Environment* 42, 410-423.
- Biswas K. F., Ghauri B. M., Husain L., 2008. Gaseous and aerosol pollutants during fog and clear episodes in South Asian urban atmosphere. *Atmospheric Environment* 42, 7775-7785.
- Bittencourt P.R.L., Barros F.V., Eller C. B., Muller C. S., Oliveira R. S., 2018. The fog regime in a tropical montane cloud forest in Brazil and its effects on water, light and microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology* 265, 359–369.
- Błaś M., Polkowska Ż., Sobik M., Klimaszewska K., Nowiński K., Namieśnik J., 2010. Fog water chemical composition in different geographic regions of Poland. *Atmospheric Research* 95, 455–469.

- 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.
- Boucher O., Randall D., Artaxo P., Bretherton C., Feingold G., Forster P. et al., 2013. Clouds and Aerosols. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Box M. A. a Box G. P., 2024. *The Science of Our Changing Climate*. Cambridge, England: Cambridge University Press. 350 s. ISBN 9781009372329. Online.
- Brown P. S., Bhushan B., 2016. Bioinspired materials for water supply and management: water collection, water purification and separation of water from oil. *Philos Trans Royal Soc A* 374, 1–15.
- Bruijnzeel, L.A., Mulligan M., Scatena F. N., 2011. Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: emerging patterns. *Hydrological Processes* 25, 465-498.
- Burgess S. S. O., Dawson T. E., 2004. The contribution of fog to the water relations of *Sequoia sempervirens* (D. Don): foliar uptake and prevention of dehydration. *Plant Cell Environment* 27, 1023–1034. doi: 10.1111/j.1365-3040.2004.01207.x.
- Cai, W., Li, K., Liao, H. et al., 2017. Weather conditions conducive to Beijing severe haze more frequent under climate change. *Nature Clim Change* 7, 257–262
- Carrillo J. H., Hastings M. G., Sigman D. M., Huebert B. J., 2002. Atmospheric deposition of inorganic and organic nitrogen and base cations in Hawaii. *Global Biogeochemical Cycles* 16, 1-15.
- Collett J. L., Daube B. C., Hoffmann M. R., 1990. The chemical composition of intercepted cloudwater in the Sierra Nevada. *Atmospheric Environment* 24, 959-972.
- Critical Loads of Atmospheric Deposition Science Committee (CLAD). Evaluating the Effects of Airborne Pollutants on Terrestrial and Aquatic Ecosystems. National Atmospheric Deposition Programme (NADP). Online. Dostupné z: <https://nadp.slh.wisc.edu/committees/clad/> [cit 8.4.2025]
- Curry J. A., Webster P.J., 1999. *Thermodynamics of Atmospheres and Oceans*. International Geophysics Series, Volume 65, Academic Press: San Diego. 473 s.

Česká meteorologická společnost. 2017. Elektronický meteorologický slovník (eMS). Online. <http://slovník.cmes.cz> [cit 04.10.2024].

Dawson, T.E., 1998. Fog in the California redwood forest: ecosystem inputs and use by plants. *Oecologia* 117,476-485.

Demmig-Adams B., Adams W.W., 2003. Photosynthesis and partitioning. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. Elsevier, 707-714.

Dollard G.J., Unsworth M. H., 1983. Field measurements of turbulent fluxes of wind-driven fog drops to a grass surface. *Atmospheric Environment* 17, 775–780.

Douville H., Raghavan K., Renwick J., Allan R.P., Arias P.A., Barlow M., Cerezo-Mota R. et al., 2021. Water Cycle Changes. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1055–1210, doi:10.1017/9781009157896.010.

Du B., Kiese R., Butterbach-Bahl K., Dirnböck T., Rennenberg H., 2025. Consequences of nitrogen deposition and soil acidification in European forest ecosystems and mitigation approaches. *Forest Ecology and Management* 580, 1-14.

Dye A., Rauschenbach S., de Szoeke S., Igel A. L., Jin Y., Kim J. B., Krawchuk M. A. et al., 2024. Fog in western coastal ecosystems: inter-disciplinary challenges and opportunities with example concepts from the Pacific Northwest, USA. *Frontiers in Environmental Science* 12.

Ebner M., Miranda T., Roth-Nebelsick A., 2011. Efficient fog harvesting by *Stipagrostis sabulicola* (Namib dune bushman grass). *J. Arid Environ.* 75, 524–531.

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* 34, 1109-1122.

Emery N. C., 2016. Foliar uptake of fog in coastal California shrub species. *Oecologia* 182, 731–742. doi: 10.1007/s00442-016-3712-4.

Fernández V., Gil-Pelegrín E., Eichert T., 2020. Foliar water and solute absorption: an update. *The Plant Journal* 105, 870-883.

Fišák J., Tesař M., 2016. Usazené srážky – jejich význam a výzkum. Středisko společných činností AV ČR, v. v. i. Online. <https://www.avcr.cz/cs/o-nas/aktuality/Usazene-srazky-jejich-vyznam-a-vyzkum> [cit 14.3.2025].

Gilardoni S., Massoli P., Giulianelli L., Rinaldi M., Paglione M., Pollini F., Lanconelli C. et al., 2014. Fog scavenging of organic and inorganic aerosol in the Po Valley. *Atmospheric Chemistry and Physics* 14, 6967–6981.

Gong B., Wang F., Lin C., Wu D., 2022. Modeling HDV and CAV mixed traffic flow on a foggy two-lane highway with cellular automata and game theory model. *Sustainability* 14, 1-18.

Gottlieb T. R., Eckardt F. D., Venter Z. S., Cramer M. D., 2019. The contribution of fog to water and nutrient supply to *Arthroerua leubnitziae* in the central Namib Desert, Namibia. *Journal of Arid Environments* 161, 35-46.

Gultepe I., Tardif R., Michaelides S. C., Cermak J., Bott A., Bendix J., 2007. Fog Research: A Review of Past Achievements and Future Perspectives. *Pure and Applied Geophysics* 164 1121–1159. doi: 10.1007/s00024-007-0211-x.

Han S., Cai Z., Zhang Y., Wang J., Yao Q., Li P., Li X., 2014. Long-term trends in fog and boundary layer characteristics in Tianjin, China. *Particuology*. 20, 61-68.

Hovorka J., 2013. Atmosférický aerosol kolem nás. Ústav pro životní prostředí Přírodovědecká fakulta UK. [Přírodovědci.cz. Online. https://www.prirodovedci.cz/aktuality/atmosfericky-aerosol-kolem-nas](https://www.prirodovedci.cz/aktuality/atmosfericky-aerosol-kolem-nas) [cit 04.10.2024].

Hůnová I., 2024. Challenges in moving towards fog's contribution to spatial patterns of atmospheric deposition fluxes on a national scale. *Science of the Total Environment* 946, 1-10.

Hůnová I., 2024. Challenges in moving towards fog's contribution to spatial patterns of atmospheric deposition fluxes on a national scale. *Science of the Total Environment* 946, 1-10.

Hůnová I., Brabec M., Malý M., Valeriánová A., 2020. Long-term trends in fog occurrence in the Czech Republic, Centra Europe. *Science of the Total Environment* 711, 1-9.

Hůnová, I., Brabec M., Geletič J., Malý M., Dumitrescu A., 2021(b). Statistical analysis of the effects of forests on fog *Science of the Total Environment* 781, 1-9.

Hůnová, I., Brabec M., Malý M., Dumitrescu A., Geletič J., 2021 (a). Terrain and its effects on fog occurrence. *Science of the Total Environment* 768, 1-10.

Hutley L.B., Yates D. J., Doley D., 1997. Water balance of an Australian subtropical rainforest at altitude: the ecological and physiological significance of intercepted cloud and fog. *Australian Journal of Botany* 45, 311–329.

Chadwick O., Derry, L., Vitousek, P. et al., 1999. Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development. *Nature* 397, 491–497

Chuman T., Oulehle F., Hruška J., 2020. Poškození ekosystémů nadměrnou depozicí dusíku a vyjádření míry kritické zátěže. *Časopis Živa* 4, 103-106.

IPCC, 2024. What is the IPCC?. Intergovernmental Panel on Climate Change

Ismail Z., Go Y., 2021. Fog-to-Water for Water Scarcity in Climate-Change Hazards Hotspots: Pilot Study in Southeast Asia. *Global Challenges*, 5.

Jarimi H., Powell R., Riffat S., 2020. Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting . *International Journal of Low-Carbon Technologies* 15, 253–276.

Johnson D. M., Smith W. K., 2006. Low clouds and cloud immersion enhance photosynthesis in understory species of a southern Appalachian spruce-fir forest (USA). *American Journal of Botany* 93, 1625–1632.

Johnstone J. A., Dawson T. E., 2010. Climatic context and ecological implications of summer fog decline in the coast redwood region. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 107, 4533–4538.

Joslin J. D., McDuffie C., Brewer P. F., 1988. Acidic cloud water and cation loss from red spruce foliage. *Water Air Soil Pollution* 39, 355–363.

Kajino M., Aikawa M., 2015. A model validation study of the washout/rainout contribution of sulfate and nitrate in wet deposition compared with precipitation chemistry data in Japan. *Atmospheric Environment* 117, 124-134.

Kaseke K. F., Wang L., 2022. Reconciling the isotope-based fog classification with meteorological conditions of different fog types. *Journal of Hydrology* 605, 1-10.

Kerfoot, O., 1968. Mist precipitation on vegetation. *For. Abstr.* 29, 8-20.

Khoury, D., Millet M., Jabali Y., Delhomme O., 2023. Fog Water: A General Review of Its Physical and Chemical Aspects. *Environments* 10, 1-33.

- Kim H., Collier S., Ge X., Xu J., Sun Y., Jiang W. et al., 2019. Chemical processing of water-soluble species and formation of secondary organic aerosol in fogs. *Atmospheric Environment* 200, 158-166.
- Klemm O., Lin N., 2016. What Causes Observed Fog Trends: Air Quality or Climate Change?. *Aerosol and Air Quality Research* 16, 1131–1142.
- Koračin D., Dorman C.E., 2017. *Marine Fog: Challenges and Advancements in Observations, Modeling, and Forecasting*. Switzerland: Springer International Publishing. 540 s. ISBN 978-3-319-45229-6. Online.
- Kušková P., 2003. Česká republika 2003: deset let udržitelného? rozvoje. Vydala Univerzita Karlova, Centrum pro otázky životního prostředí, Praha, 72 s., ISBN 80-239-2010-3.
- Kutík, J., 2012. Fotosystém dva – enzym, který změnil svět. *Vesmír*, 91, 389–392.
- Lange C. A., Matschullat J., Zimmermann F., Sterzik G., Wienhaus O., 2003. Fog frequency and chemical composition of fog water—a relevant contribution to atmospheric deposition in the eastern Erzgebirge, Germany, *Atmospheric Environment* 37, 3731–3739.
- Lawson S. T., Scherbatskoy T. D., Malcolm E. G., Keeler G. J., 2003. Cloud water and throughfall deposition of mercury and trace elements in a high elevation spruce–fir forest at Mt. Mansfield, Vermont. *Journal of Environmental Monitoring* 5, 578–583.
- Lawton R. O., Pielke R. A. Sr., Nair U. S., 2001. Climatic Impact of Tropical Lowland Deforestation on Nearby Montane Cloud Forests. *Science* 294, 584-587.
- Leipper D. F., 1994. Fog on the U.S. West Coast: A Review. *Bulletin of the American Meteorological Society*. Vol. 75, No. 2, 229-240.
- Malik F. T., Clement R. M., Gethin D. T., Krawszik W., Parker A. R., 2014. Nature's moisture harvesters: a comparative review. *Bioinspiration and Biomimetics* 9, 1-16.
- Marley N. A., Gaffney J. S., Cunningham M. M., 1993. Aqueous greenhouse species in clouds, fogs, and aerosols. *Environmental Science and Technology* 27, 2864–2869.
- Martin C. E., von Willert D. J., 2000. Leaf Epidermal Hydathodes and the Ecophysiological Consequences of Foliar Water Uptake in Species of *Crassula* from the Namib Desert in Southern Africa. *Plant biology* 2, 229–242.
- Martorell C., Ezcurra E., 2002. Rosette scrub occurrence and fog availability in arid mountains of Mexico. *Journal of Vegetation Science* 13: 651-662.

Ministerstvo dopravy ČR, 2015. Vyhláška č. 294/2015 Sb., o pravidlech provozu na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů. Příloha č. 3. Sbírka zákonů České republiky. Praha: Ministerstvo vnitra.

Mitchell D., Henschel J. R., Hetem R. S., Wassenaar T. D., Strauss W.M., Hanranah S. A., Seely M. K., 2020. Fog and fauna of the Namib Desert: past and future. *Ecosphere* 11, 1-40.

Montefalcone M., Parravicini V., Bianchi C.N., 2011. Quantification of Coastal Ecosystem Resilience, *Earth Systems and Environmental Sciences* 10, 49-70.

Mülmenstädt J., Salzmann M., Kay J. E., Zelinka M. D., Ma P., Nam C. et al., 2021. An underestimated negative cloud feedback from cloud lifetime changes, *Nature Climate Change* 11, 508-513.

Munzar J. a kol., 1989. Malý průvodce meteorologií. První vydání. Vydala Mladá fronta. Praha, 248 s. ISBN 23-011-89

Oliveira R., Eller C., Bittencourt P., & Mulligan M., 2014. The hydroclimatic and ecophysiological basis of cloud forest distributions under current and projected climates. *Annals of botany* 113, 909–920.

Pacyna, J.M., 2008. Atmospheric Deposition, *Encyclopedia of Ecology*, Academic Press, 275-285, ISBN 9780080454054. Online. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00258-5>. [cit 5.3.2025]

Palán L., 2019. Environmentální dopady horizontálních srážek z mlhy a nízké oblačnosti v horském povodí v podmínkách kyselé atmosférické depozice. Disertační práce. ČVUT v Praze. Online.

Peng Y., Yang J., Seabloom E. W., Sardans J., Peñuelas J., Zhang H., Wei C. et al., 2025. Nutrient effects on plant diversity loss arise from nutrient identity and decreasing niche dimension. *Global Change Biology* 31, 1-15.

Pérez-Díaz J. L., Ivanov O., Peshev Z., Álvarez-Valenzuela M. A., Valiente-Blanco I. et al. 2017. Fogs: Physical Basis, Characteristic Properties, and Impacts on the Environment and Human Health. *Water* 9, 1-21.

Pinto R., Barría I., Marquet P.A., 2006. Geographical distribution of *Tillandsia lomas* in the Atacama Desert, northern Chile. *J Arid Environment* 65, 543–552. Online. [cit 14.10.2024].

- Poku C., Ross A. N., Blyth A. M., Hill A. A., Price J. D., 2019. How important are aerosol–fog interactions for the successful modelling of nocturnal radiation fog?. *Weather* 74, 237-243.
- Pounds J. A., Fogden M. P. L., Campbell J. H., 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature* 398, 611-615.
- Ritter A., Regalado C. M., Aschan G., 2009. Fog reduces transpiration in tree species of the Canarian relict heath-laurel cloud forest (Garajonay National Park, Spain). *Tree Physiology* 29, 517–528.
- Rundel, P.W., Dillon M. O., Palma B., Mooney H. A., Gulmon S. L., Ehleringer J. R., 1991. The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian deserts. *Aliso: Journal of Systematic and Floristic Botany* 13, 1-49.
- Samelson R. M., de Szoeki S. P., Skillingstad E. D., Barbour P. L., Durski S. M., 2021. Fog and low-level stratus in coupled ocean-atmosphere simulations of the northern California Current System upwelling season. *Monthly Weather Review* 149, 1593–1617.
- Selma, I., Collett J. Jr., Lynch J., Weiss-Penzias P., Rogers M. C., 2022. Cloud and fog deposition: Monitoring in high elevation and coastal ecosystems. The past, present, and future. *Atmospheric Environment* 274, 1-13.
- Smith S. D., Monson R. K., Anderson J. E., 1997. *Physiological Ecology of North American Desert Plants. Adaptations of Desert Organisms.* Springer, Berlin, Heidelberg. 286 s.
- Snyder M., Sloan L., Diffenbaugh N., Bell J., 2003. Future climate change and upwelling in the California Current. *Geophysical Research Letters* 30, 1-4.
- Steenefeld G., Ronda R. J., Holtslag B., 2015. The Challenge of Forecasting the Onset and Development of Radiation Fog Using Mesoscale Atmospheric Models. *Boundary-Layer Meteorology* 154, 265-289.
- Stewart M. M., 1995. Climate driven population fluctuations in rain forest frogs. *Journal Herpetology* 29, 437–446
- Still C., Foster P., Schneider S., 1999. Simulating the effects of climate change on tropical montane cloud forests. *Nature* 398, 608–610.
- Sugden A. M., 1982. The Vegetation of the Serrania de Macuira, Guajira, Colombia: A Contrast of Arid Lowlands and an Isolated Cloud Forest. *Journal of the Arnold Arboretum* 63, 1–30.

Tardif R., Rasmussen R. M., 2007. Event-based climatology and typology of fog in the New York City region. *J Applied Meteorology and Climatology* 46, 1141-1168

Thalmann E., Burkard R., Wrzesinsky T., Eugster W., Klemm O., 2002. Ion fluxes from fog and rain to an agricultural and a forest ecosystem in Europe. *Atmospheric Research* 64, 147–158.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 2011. Fact sheet: Climate change science – the status of climate change science today. 1-7.

United Nations Framework Convention on Climate Change. 1992. United Nations. Online.

Unsworth M. H., Wilshaw J. C., 1989. Wet, occult and dry deposition of pollutants on forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 47, 221-238

UN-Water, 2021: Summary Progress Update, 2021. SDG 6 – water and sanitation for all.. Geneva, Switzerland. 1-58.

Vandecar K., Runyan C., D'Odorico P., Lawrence D., Schmook B., Das R., 2015. Phosphorus input through fog deposition in a dry tropical forest. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 120, 2493–2504.

Vautard R., Yiou P., Oldenborgh G. J., 2009. Decline of fog, mist and haze in Europe over the past 30 years. *Nature Geoscience* 2, 115–119.

Weathers K. C., Likens G. E., 1997. Clouds in southern Chile: An important source of nitrogen to nitrogen-limited ecosystems? *Environmental Science and Technology* 31, 210–13.

Weathers K. C., Likens G. E., Bormann F. H., Bicknell S. H., Bormann B. T., Daube B. C. Jr, Eaton J. S. et al., 1988. Cloudwater chemistry from ten sites in North America. *Environmental Science and Technology* 22, 1018-1026.

Weathers K. C., Ponette-González A. G., Dawson E. T., 2020. Medium, Vector, and Connector: Fog and the Maintenance of Ecosystems *Ecosystems* 23, 217–229.

Weathers, K. C., 1999. The importance of cloud and fog in the maintenance of ecosystems. *Institute of Ecosystem Studies, Box AB, Millbrook, NY 12545*, 214-215.

Werner Z., Choi Ch. T. H., Winter A., Vorster A. G., Berger A., O'Shea K., Evangelista P., Woodward B., 2022. MODIS sensors can monitor spatiotemporal trends in fog and low cloud cover at 1 km spatial resolution along the U.S. Pacific Coast. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 28, 1-13.

Whitford W. G., Duval B. D., 2020. Ecology of Desert Systems. Druhé vydání. Academic Press, Londýn, 473 s.

Wiens D., Sweet T., Worsley T., 2020. Validating the New Paradigm for Extinction: Overcoming 200 Years of Historical Neglect, Philosophical Misconception, and Inadequate Language, *The Quarterly Review of Biology* 95, 109-124.

Willett H. C., 1928. Fog and haze, their causes, distribution, and forecasting. *Monthly weather review* 56, 435-468.

Williams A. P., Schwartz R. E., Iacobellis S., Seager R., Cook B. I., Still C. J., Michaelsen J. et al., 2015. Urbanization causes increased cloud base height and decreased fog in coastal Southern California. *Geophysical Research Letters*, 42, 1527-1536.

Wiltshire R. J. E., 2004. Tropical ecosystems | Eucalypts. *Encyclopedia of Forest Sciences*, 1687-1699.

World Meteorological organization (WMO). 2017. International Cloud Atlas (ICA). Online. <https://cloudatlas.wmo.int/en/foreword-to-the-2017-edition.html>[cit 14.10.2024].

Xiu P., Chai F., Curchitser E.N. et al., 2018. Future changes in coastal upwelling ecosystems with global warming: The case of the California Current System. *Sci Rep* 8, 1-9.

Xu X., Chen J., Zhu Ch., Li J., Sui X., Liu L., Sun J., 2018. Fog composition along the Yangtze River basin: Detecting emission sources of pollutants in fog water, *Journal of Environmental Sciences* 71, 2-12.

Yang Q., Zhang Z., Zhang H., Yang H., Pandey S., John R., 2024. The contributions of rainfall and fog to leaf water of tree and epiphyte communities in a tropical cloud forest. *Front. Plant Science* 15, 1-14. doi: 10.3389/fpls.2024.1488163.

Zizka G., Schmidt M., Schulte K., Novoa P., Pinto R., König K., 2009. Chilean Bromeliaceae: diversity, distribution and evaluation of conservation status. *Biodivers Conserv* 18, 2449–2471.