

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí

Ekologie a ochrana životního prostředí

Ochrana životního prostředí



Bakalářská práce

Může být námraza faktorem, který se významnou měrou podílí na celkové atmosférické depozici?

Could rime be a factor that significantly contributes to the overall atmospheric deposition ?

Tomáš Krištof

Školitel: doc. RNDr. Iva Hůnová, Csc.

Praha 2015

Prohlášení:

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

V Praze dne 6. 8. 2015

.....

Tomáš Krištof

Rád bych poděkoval své školitelce, doc. RNDr. Ivě Hůnové, CSc., za odborné vedení a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

Abstrakt

Cílem této práce je pokusit se odpovědět na otázku, jestli má námraza významný podíl na atmosférické depozici formou rešerše odborné literatury. Atmosférická depozice je děj, kterým se přenáší látky z ovzduší na zemský povrch. Jednou z jejích složek je usazená depozice (mlha, jinovatka, námraza). Námraza se nevyskytuje po dobu celého roku a její tvorba je závislá na často měnících se faktorech. Přesto je možné dokázat, že koncentrace látek v námraze může převyšovat, nebo alespoň zabírat významný podíl na atmosférické depozici v určitých lokalitách za příznivých období pro její vznik.

Klíčová slova: Atmosférická depozice, námraza

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to try to answer the question whether the rime can have significant contribution to atmospheric deposition by researching available literature. Atmospheric deposition is a process which transmits substances from the atmosphere to the earth's surface. One of its components is a sedimentary deposition (fog, frost, rime). Rime does not occur throughout the whole year, and its formation is dependent upon frequently changing factors. Yet it can be shown that the concentration of substances in rime may exceed or at least occupy a significant share of atmospheric deposition in certain locations under favorable period for its emergence.

Key words: Atmospheric deposition, rime

Obsah

1	Úvod	5
2	Atmosférická depozice a její význam	6
2.1	Mokrá atmosférická depozice	7
3	Námraza	8
3.1	Podmínky pro vznik námrazy	9
3.2	Výskyt námrazy v různých nadmořských výškách	11
3.3	Druhy námrazových jevů	13
3.3.1	Ledovka (glaze)	13
3.3.2	Zrnitá námraza (hard rime)	14
3.3.3	Krystalická námraza (soft rime)	15
3.4	Odběr a analýza námrazy	16
3.5	Vliv námrazy na lesní ekosystémy	19
4	Lokality měření	20
4.1	Milešovka	20
4.2	Krkonoše	29
4.3	Několik vybraných lokací v České republice	34
4.4	Kaskádové pohoří (Central Washington cascades)	37
5	Shrnutí výsledků	40
6	Závěr	41
7	Seznam použité literatury	42

1 Úvod

Atmosférická depozice zamezuje kumulaci látek v atmosféře jejich přenášením na zemský povrch, tím přispívá k jejímu samočištění, ale zároveň je přenáší do jiných složek životního prostředí. Dělí se na suchou a mokrou. Zatímco suchá působí hlavně v blízkosti zdrojů emisí a neprobíhá za přítomnosti srážek, mokrá depozice má výrazný vliv i v oblastech bez přítomnosti silných emisních zdrojů. Mokrá se dělí na vertikální (déšť, sníh,...) a usazenou (mlha, jinovatka, námraza). Usazená depozice se nevyskytuje po dobu celého roku a její příspěvek do celkové depozice může být zanedbán (Hůnová 2006). Námraza je jev, jehož výskyt záleží na proměnlivých faktorech (teplota, rychlost větru, výskyt oblačnosti, LWC,...) (Vrána 1986). Existuje hodně stanic, které měří množství usazené námrazy, ale především kvůli jejímu vlivu na energetický průmysl (usazeniny námrazy mohou ničit elektrického vedení), nebo jejímu vlivu v letectví. Menší část výzkumu je soustředěna na její schopnost akumulovat látky z atmosféry. Cílem této práce je odpovědět na otázku, jestli se námraza může podílet významnou měrou na celkové atmosférické depozici.

2 Atmosférická depozice a její význam

Atmosférická depozice zajišťuje přenos látek z atmosféry na zemský povrch. Je to důležitý samočisticí mechanismus, který zlepšuje kvalitu ovzduší a zabraňuje kumulaci znečišťujících látek v atmosféře. Tímto procesem se látky nevytráčí, ale jenom se přenesou z jedné složky životního prostředí na druhou. Nehromadí se tedy v atmosféře, ale jsou ve stavu tzv. dynamické rovnováhy. Tento proces sice „očisťuje“ atmosféru, ale zároveň přenáší vysoké množství znečišťujících látek na jiné složky životního prostředí (Braniš, Hůnová 2009, Hůnová, Vanoušková 2004).

Atmosférickou depozici lze vyjádřit jako přenos hmotnosti určité látky na povrch za zvolené časové období. Povrchem nejsou myšleny jenom objekty, nebo organismy, ale i přesun látek do jiných složek životního prostředí (hydrosféra, litosféra, atd. Vyjadřuje se např. v $\text{g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{rok}^{-1}$ (Braniš, Hůnová 2009, Hůnová, Vanoušková 2004).

2.1 Mokr atmosfrick depozice

Mokr atmosfrick depozice se odehrává za pritomnosti atmosférických srážek a je rozdělována na dvě složky - vertikální projevující se jako deř, snh, kroupy a horizontln (v odborných textech se popisuje tež jako „usazen“), projevující se jako mlha, jinovatka a námraza. Na rozdíl od such depozice probíhá v prm závislosti na atmosférických srážkách, a její podíl na celkov depozici může být mnohonsobn věří. V závislosti na meteorologických podmínkách může zasahovat i do regionů bez vlastních emisních zdrojů a ne jenom v oblastech s vlastními zdroji zneiřtn jako depozice such (Hnov, Vanouřkov 2004, Hnov, Prořkov 2006). Prmrn koncentrace složky se mr v různých intervalech. Vtřinou se dl denn, msn, nebo ron průměr.

Je treba se jeřt zmnit o prenosu zneiřtujcch látek, kter závisí nejen na četnosti atmosférických srážek, ale také na jejich koncentraci v ovzduř. Procesy přechodu těchto látek z ovzduř do jiných složek životního prostředí se uskutenj jejich nachytnm na padající kapky vody, nebo snhov vločky. Tm se dostvj na zemsk povrch. Tento proces se nazývá „vymývání“ (washout). Pri tomto procesu se pevn částice, nebo plyny zachycují padajícími deřovmi kapkami. Druhm způsobem depozice je působení „vyprřen“ (rainout), kde zneiřtujc látky působí jako kondenzační jádra pri vzniku atmosférických srážek (Hnov, Vanouřkov 2004).

3 Námraza

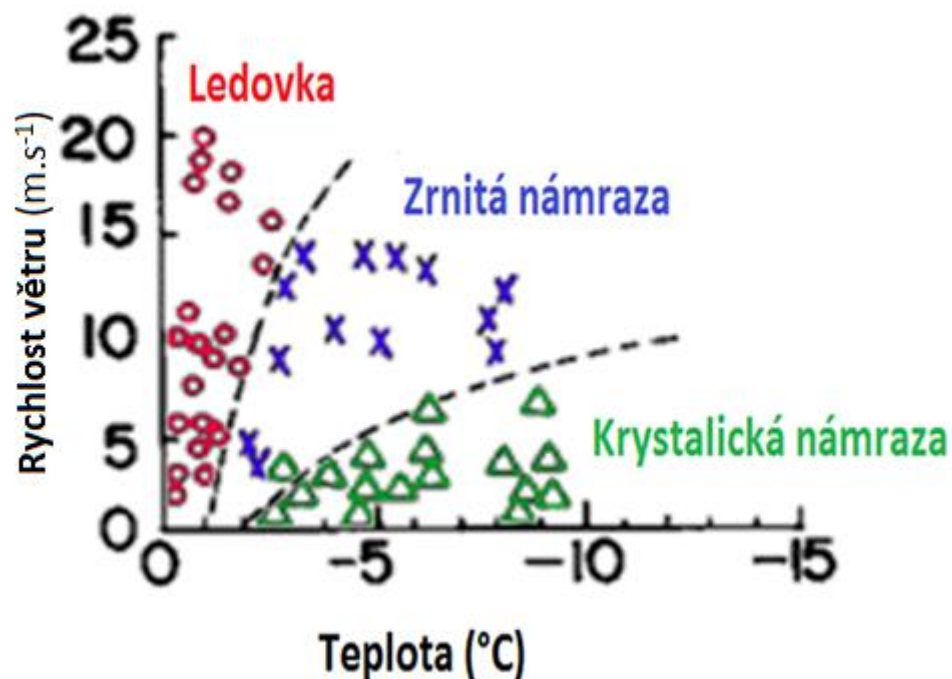
Námraza vzniká kondenzací a sublimací vodních par na předmětech při teplotě pod 0 °C, nebo usazováním vodních kapek z mlhy, nebo oblaku na podchlazených předmětech, kde mrznou (Blaženec 2007). Při usazování tvoří v závislosti na meteorologických podmínkách různé struktury (Obr. 1), které mohou mít veliký podíl na přechodu znečišťujících příměsí na zemský povrch. V horských oblastech může námraza přispívat důležitým podílem do celkové vodní bilance (Namiešnik 2006). Námraza vzniká z mlhy a oblaku. Mlha se od oblaku liší obsahem vody, velikostí, rozptylu částic a chemickém složení (Hůnová, et al. 2006).

Meteorologická definice popisuje mlhu jako atmosférický aerosol tvořený malými vodními kapičkami rozptýlenými ve vzduchu, který omezuje vodorovnou dohlednost alespoň v jednom směru pod 1 km (eMS).

V nadmořských výškách přesahujících 800 m n. m. představuje mlha důležitý prvek atmosférické depozice. Kapky v mlze obsahují větší koncentrace iontů a zůstává v kontaktu s povrchem déle než vertikální srážky (Lange et al. 2003).

3.1 Podmínky pro vznik námrazy

Námrazové jevy se nejvíce vyskytují v teplotách okolo 0 °C až -10 °C teploty vzduchu (Obr. 1). Mohou vznikat pouze na objektech s teplotou pod bodem mrazu. Vyskytují se i při teplotě vzduchu nad 0 °C, a to tehdy, když povrch, na kterém se tvoří, bude chladnější než vzduch. Často proměnlivé faktory vzniku námrazy jsou teplota a rychlost vzduchu (Obr. 1). Záleží také na velikosti kapiček mlhy oblaku, srážek a relativní vlhkosti (Vrána 1986). Další důležitý faktor je také výskyt, trvání a množství oblačnosti.
(eMS, Eoas, <http://www.tdee.ulg.ac.be/doc-28.html>)



Obr. 1: Druhy námrazy v závislosti na rychlosti větru (Upraveno podle <http://www.tdee.ulg.ac.be/doc-28.html>).

Je důležité zmínit, že výše udávané teploty by se měli brát spíše orientačně, teplotní hranice mezi různými druhy námrazy nejsou pevně dané (eMS).

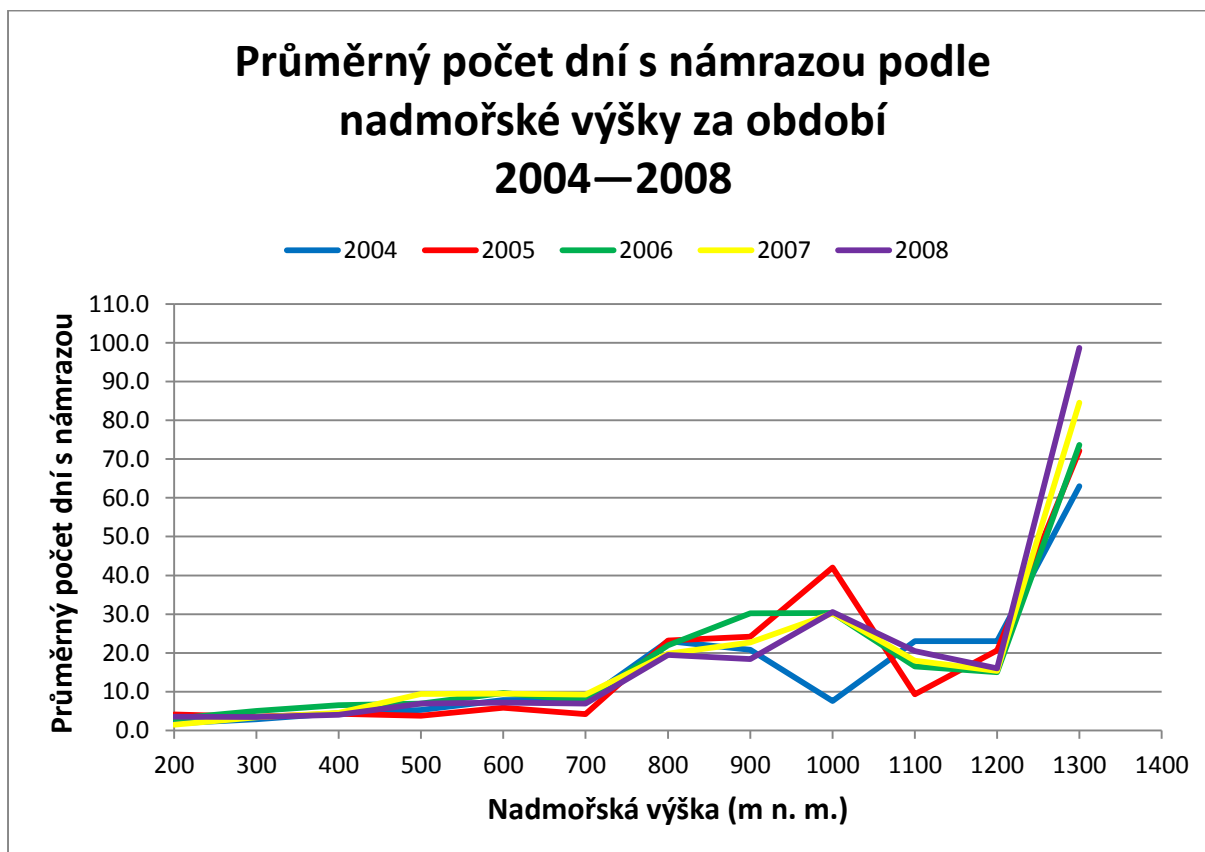
Závislost tvorby námrazy na rychlosti větru spočívá v tom, že při zesílení rychlosti větru se zvětšuje množství kapek dopadajících na povrch. Celková hmotnost námrazy se bude zvyšovat se zvyšující se rychlostí větru do $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, potom přírůstek námrazy značně klesá (Vrána 1986, Obr. 1).

(Vrána 1986) na příkladu Krušných hor vysvětluje závislost tvorby námrazy na počtu kondenzačních jader. I přes to, že je v některých zimních měsících v České republice výskyt námrazy malý, v Krušných horách se námraza vyskytuje hojně. Krušné hory leží v blízkosti aktivní průmyslové oblasti. Ovzduší této oblasti obsahuje plyny, kapičky i pevná tělíska nejrůznějšího složení např. amonné, síranové ionty, popílký a prach v uhelných dolů (Vrána 1986). Všechny tyto částice mohou za vhodných fyzikálních podmínek působit jako kondenzační jádro (Vrána 1986).

Důležitý faktor pro tvorbu námrazy a koncentraci v ní obsažených látek je tzv. Liquid water content (LWC). Je to hodnota množství vody v určitém objemu vzduchu, vyjadřuje se jako hmotnost na objem vzduchu $\text{g}\cdot\text{m}^3$. Hodnota LWC v oblačnosti se mění v závislosti na výšce, teplotě, tlaku a typu oblačnosti (Dong-Hai 2014). Její význam se zvětšuje s ubývajícím rychlostí větru a vyšší velikostí kapek. Hlavní příčinou těchto změn je gravitace a setrvačné síly mezi jednotlivými částicemi. Tyto síly mění trajektorii usazování přechlazených částic (Banitalebi Dehkordi, et al. 2013).

3.2 Výskyt námrazy v různých nadmořských výškách

Námrazové jevy se projevují hlavně v nadmořských výškách přesahující 800 m n. m. (Obr. 2). Na Obr. 2 je vidět pokles tvorby námrazy v nadmořské v. 1000—1200 m n. m. To nemusí znamenat, že výskyt námrazy v těchto nadmořských v. vždycky klesá, ale že podmínky pro vznik námrazy v konkrétních lokacích nejsou tolik příznivé. V nadmořské. v. okolo 1200 m n. m. strmě stoupá průměrný počet dní s námrazou. Zvětšující se nadmořská v. znamená pokles teploty a větší vystavení větru, což přispívá k tvorbě námrazy.



Obr. 2: Závislost tvorby námrazy na nadmořské výšce. Data byla získána z několika lokalit v České republice. Obr. byl vytvořen na základě nepublikovaných dat ČHMU.

Průměrný výskyt dní s námrazou je pro jednotlivé roky do 800 m n. m. velice podobný. Větší rozdíly se začínají projevovat až se stoupající nadmořskou v. a větším počtem námrazových dní v roce. To se projevuje hlavně v letech 2004 a 2005 v 1000 m n. m., kde je počet dní s námrazou o 20 větší v roce 2005 než v předchozím. V největších nadmořských výškách (>1200 m n. m.) se počet dní s námrazou za jednotlivé roky zvyšuje. V roce 2008 je sledováno v průměru až o 30 námrazových dní více, než v roce 2004.

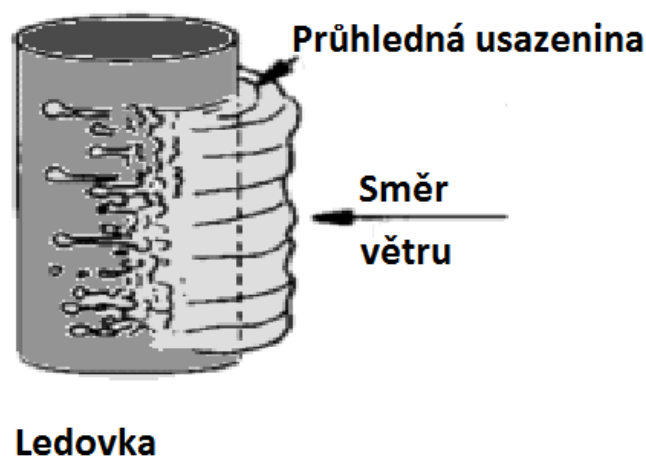
Největší průměrný výskyt dní s námrazou je sledován v nejchladnějších měsících. Konkrétně je to leden – březen a listopad – prosinec. Prosinec byl za sledované období měsíc s největším průměrným výskytem dní s námrazou, i když (Iacob 2009) ve své studii uvádí, že měsíc s největším výskytem námrazy je leden. Duben a říjen mají také svoje zastoupení, ale už je výrazně menší. V období květen - září se námraza v menších nadmořských v. prakticky nevyskytuje, ale ve výše položených oblastech je to stále možné (Coufal).

Tyto data výskytu námrazových dní z České republiky jsou podobná s průměrným výskytem námrazy v (Bezrukova 2006, Fisak, et al. 2009, Migala K. et al. 2002, Coufal). Ve výše položených lokalitách, jako je třeba Lomnický štít ve Vysokých tatrách (2635 m n. m.) se námraza může vyskytovat po celý rok a vysoké hodnoty se dají naměřit i v letních měsících (Konček 1950).

3.3 Druhy námrazových jevů

3.3.1 Ledovka (glaze)

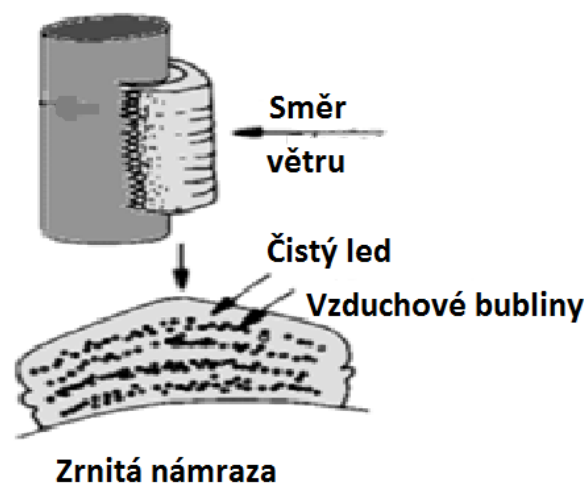
V teplotním rozmezí kolem 0 °C až -3 °C (Obr. 1) se zpravidla tvoří beztvářá, homogenní, průhledná ledová vrstva. Vzniká buď zmrznutím přechlazených vodních kapek při dopadu na povrch o teplotě pod 0 °C, nebo zmrznutím nepřechlazených vodních kapek na povrchy se silně zápornou teplotou. Ledovka se tvoří na svislých či šikmých plochách, na povrchu stromů, drátů, chodníku a vozovce. Díky pomalejšímu mrznutí stačí voda vyplnit nerovnosti. Je přilnavá, odolná proti větru a špatně oddělitelná od povrchu, na kterém se vytvořila. Když jsou podmínky pro vznik ledovky dobré a dlouhotrvající, může dosáhnout tloušťky až několika cm (eMS, Vrána 1986).



Obr. 3: Ledovka (Upraveno podle <http://www.tdee.ulg.ac.be/doc-28.html>)

3.3.2 Zrnitá námraza (hard rime)

Při teplotách v rozmezí $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Obr. 1) kapky obsažené v mlze a oblaku mrznou velice rychle, proto při styku s objekty nemají čas na usazení nebo vyplnění nerovností a vzniká spíše zrnitá, neprůhledná ledová usazenina. Největší výskyt tohoto druhu námrazy je v horských oblastech při nízké mlze na stromech a různých objektech (např. stožáry elektrického vedení). Je to i velice důležitý a sledovaný jev v letectví (eMS, Vrána 1986).

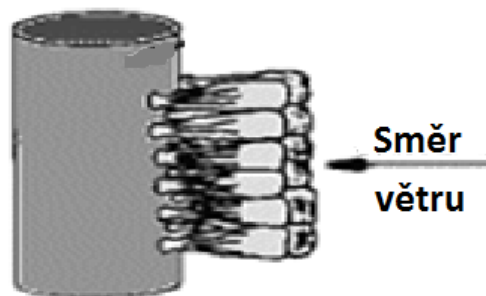


Obr. 4: Zrnitá námraza (Upraveno podle <http://www.tdee.ulg.ac.be/doc-28.html>)

Námraza se tvoří na návětrné straně (strana vystavěná větru). Tvar tohoto druhu námrazy tedy odpovídá směru a intenzitě větru. Může sloužit jako indikátor povětrnostních podmínek a obecně vzniká při vyšší rychlosti větru. Jeden z faktorů určující druh námrazy je obsah přechlazených kapiček vody. Zrnitá námraza jich má nejméně a spíše převládají ledové krystalky, tím pádem je tvrdší a odolnější, i když se v ní objevují vzduchové bubliny, které mohou narušovat její strukturu a pevnost (Eoas), (Obr. 4).

3.3.3 Krystalická námraza (soft rime)

Krystalická námraza (soft rime) se většinou tvoří za podmínek s teplotou nižší než $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vytváří strukturu křehkých jehel, nebo šupin. Oproti zrnité námraze, je velice křehká a dá se snadno odstranit od povrchu, na kterém se vytvořila. Nezpůsobuje výrazné problémy při usazování na elektrickém vedení (eMS, Zdroj 1, Vrána 1986). Vzniká spíše za mírnějších povětrnostních podmínek (Obr. 1).



Krystalická námraza

Obr. 5: Krystalická námraza (Upraveno podle <http://www.tdee.ulg.ac.be/doc-28.html>).

3.4 Odběr a analýza námrazy

Námrazové jevy se převážně vyskytují v nadmořských výškách přesahujících 800 m n. m. (Obr. 1), většina měřících zařízení je situovaná do horských, nebo podhorských oblastí, ale může probíhat i ve větších městech. Při sběru a analýze námrazového sněhu se také zjišťují základní fyzikální charakteristiky nízké oblačnosti. Pomocí optických přístrojů se měří vodní obsah, dohlednost a velikost vodních kapiček (Namiešnik 2006). Účel těchto povrchů je maximálně zamezit kontaminaci sbíraného vzorku. Vzorek se potom sbírá do polyethylenových lahví. Samotný sběr a manipulace se vzorkem je jedno z největších a nejčastějších rizik, při kterém může dojít ke kontaminaci vzorku (Fisak, et al. 2009). Zařízení je většinou umístěno v určité výšce podle charakteru okolí, vzdálenosti od lesa a povětrnostních podmínek. Např. u jedné ze studií (Elaston, et al. 1995) byla použita výška 1 m za použití čtyř polyethylenových destiček (20 cm x 20 cm x 5 cm), které jsou otočené na čtyři světové strany. Tato metoda je dobrá pro zjištění povětrnostních podmínek, kde se tvar námrazy může „od pohledu“ zhodnotit a poté seškrabat polyethylenovým nářadím.

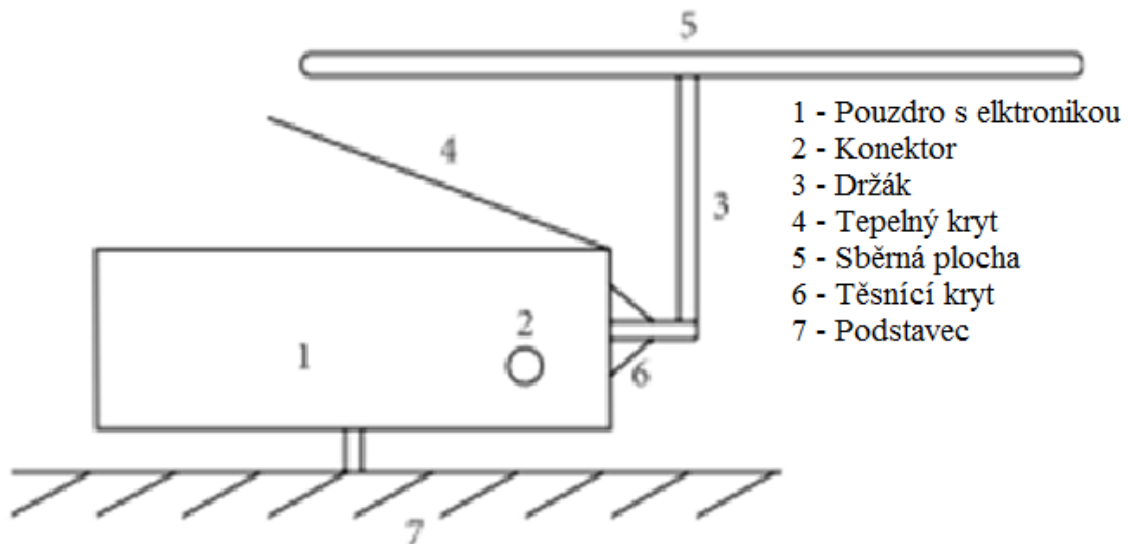
Některé meteorologické stanice, i když nejsou určeny přímo pro sběr námrazového sněhu, můžou být použity jako pasivní sběrný přístroj, jelikož se námraza usazuje na jejich površích. Tato metoda může být ovšem nepřesná, protože se nebude jednat o vzorek čistý, bez nežádoucích příměsí.

Problém s měřením námrazy, je ten, že existuje obrovská variabilita prostředí, která ovlivňuje výsledky měření. Horské oblasti, kde se námraza většinou měří, jsou díky umístění, tvaru reliéfu a měnícím se meteorologickým podmínkám velice proměnlivá prostředí. Kvůli tomu je nutné, aby měření byla co nejpřesnější a probíhala v malých časových intervalech, což znamená i několikrát denně jako třeba v (Baronowski, et al. 1977).

Ve většině měřících stanic se nevěnuje pozornost chemickému složení námrazy, ale spíš jejímu množství. To je hlavně díky energetickému průmyslu, kde hmotnost usazené námrazy představuje problém při poškozování elektrického vedení (Polopanský 1996). Měřící zařízení většinou představují „ideální“ povrch pro sběr námrazy (záleží spíše na tvaru a vystavení větru, než samotném povrchu). Když vezmeme v potaz, že běžné povrchy, jako elektrické dráty, budovy, nebo lesní porosty mají velice variabilní tvar a strukturu povrchu. Celkový úděl námrazy na depozici, nebo příspěvku do vodního režimu je velice těžko odhadnutelný. Další faktor, který může ovlivnit výsledky je použití různých metod měření a vyhodnocování koncentrací sledovaných látek. Jak v mlze, sněhu, tak v námraze se většinou zkoumají hlavní acidifikující složky atmosféry SO_4^{2-} , NO_3^- , dále pak ionty Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , F^- , Cl^- k tomu pH a vodivost (Fisak, et al. 2009, Migala K. et al. 2002).

Ve studiích zabývajících se podílem námrazy na celkové depozici se většinou ilustruje rozdíl koncentrace těchto látek v samotné námraze oproti koncentraci těchto látek v mlze (Fisak, et al. 2009), nebo sněhu (např. Duncan 1992). To představuje další problém, protože vzorky mlhy, sněhu a námrazy se vždy nebudou sbírat za stejných podmínek. Když se třeba za mlhových událostí vyskytují i sněhové srážky, může být vzorek kontaminován a měření nepřesná.

Popis měrného zařízení



Obr. 6: Schéma a popis zařízení na měření o odběr námrazy (Upraveno podle Fišák, 2015).

Zařízení bylo konstruováno v Ústavu fyziky atmosféry v České republice. Pouzdro s elektronikou (1) je zasazeno na podstavec (7) pro dobrou stabilitu a vyvážení zařízení do vodorovné polohy. Konektor (2) připojený k elektronice systému zaručuje dodávku elektrického proudu a komunikaci s počítačem. Celé elektronické zařízení je připojeno k sběrné ploše (5), těsnící kryt (6) chrání elektroniku před hmyzem a prachem. Tepelný kryt (4) chrání sběrnou plochu (5) před tepelnou interferencí, která může ovlivnit usazování námrazy (Obr. 6). Sběrná plocha tohoto zařízení je $0,2 \text{ m}^2$ (Fišák, 2015).

3.5 Vliv námrazy na lesní ekosystémy

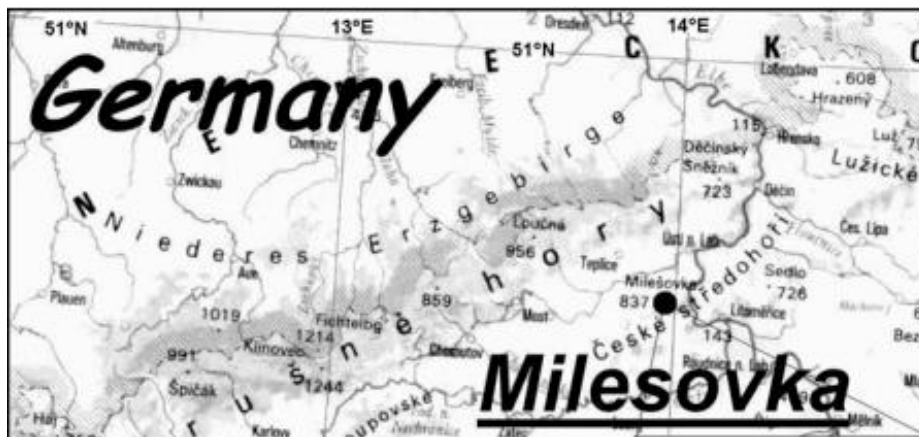
(Foster 1988) se ve své studii zabýval účinkem námrazy na lesní ekosystémy, konkrétně na pravidelně se obnovující porosty jedlí na severovýchodu USA a středním Japonsku. Ze studie plyne, že námraza může být faktorem, který negativně ovlivňuje příjem a vstřebávání uhlíku, tím pádem omezování fotosyntetických schopností stromového pásma. Usazenina námrazy na větvíčkách stromů negativně ovlivňuje jejich pružnost. Při větších rychlostech větru jsou tedy méně odolné a mohou se odlamovat. Tímto postupným odlamováním porosty ztrácí svojí aerodynamickou odolnost a okrajové „stínící“ stromové pásmo schopnost omezit pronikání větru, tedy i námrazy do vnitřních částí stromového pásma. Ve studii je prokázáno, že tento stav může zapříčinit rychlejší odumírání stromových pásem a redukování jejich fotosyntetických schopností (Foster 1988).

Námraza tedy nemusí působit jenom jako přenašeč znečišťujících látek ze vzduchu na povrch, ale jenom její přítomnost na vegetaci může působit velké škody.

4 Lokality měření

4.1 Milešovka

Meteorologická stanice Milešovka založená v roce 1905 se nachází na nejvyšším vrcholu Českého středohoří ve výšce 837 m n. m. v převýšení asi 350–500 m nad okolím v severní části Čech blízko českoněmeckých hranic (Fisak, et al. 2009).



Obr. 7: Lokalita stanice Milešovka u českoněmeckých hranic (Fisak, et al. 2009).

Milešovka se nachází v oblasti tzv. černého trojúhelníku, regionu, který je díky těžkému jednou z nejvíce znečištěných oblastí v Evropě (Bridges et al. 2002, Elias 2002). Milešovka je vystavena několika uhelným dolů a elektrárnám ze severozápadního směru. K tomu ještě přispívá relativně četná automobilová doprava v blízkosti stanice (Fisak, et al. 2009).

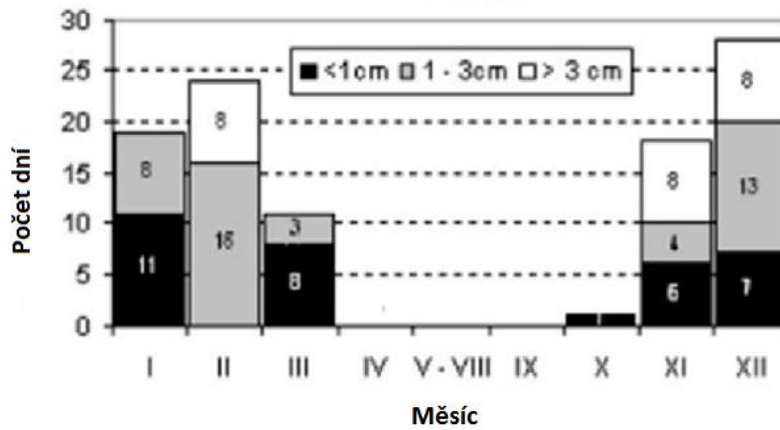
Pozornost se věnuje výzkumu chemických a fyzikálních vlastností usazených srážek z měření znečišťujících látek z mlhy a námrazy. K měření látek v mlze se používá automatická meteorologická stanice METEOS 4. Ke měření množství a váhy námrazy je používáno pasivní odběrové zařízení, takzvaný „ice-meter“ (Fisak, et al. 2009).



Obr. 8: Pasivní odběrové zařízení nazývané námrazoměr (ice-meter) je na stanici Milešovka používán od roku 1999 (Fisak, et al. 2009).

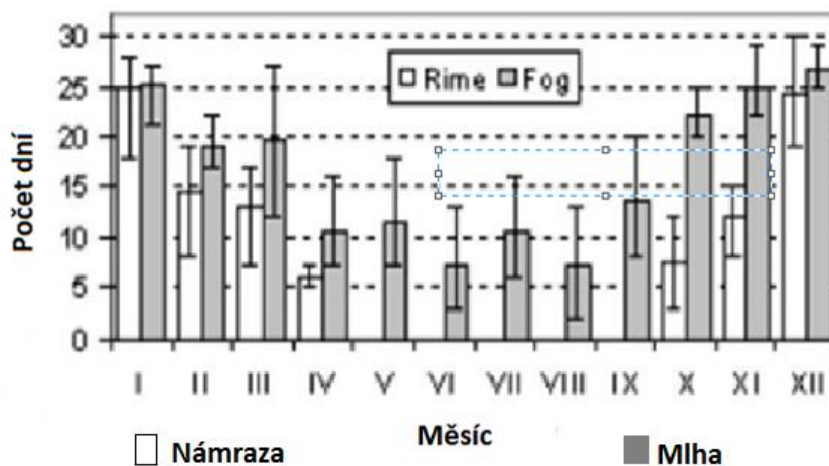
Výsledky výzkumu

V roce 1999—2004 proběhl výzkum měření podílu depozice z mlhy a námrazy. Pro výzkum námrazy byly zvoleny tři intervaly výšky (< 1 cm, > 1 až 3 cm, > 3 cm, Obr. 9) s největším důrazem na třetí interval, který představuje důležitý podíl celkového měsíčního podílu pro únor, listopad a prosinec (Fisak, et al. 2009). Odebraly se vzorky z 234 mlhových a 14 námrazových situací pro období 2000—2001 a 2003—2004. Na Milešovce jsou časté mlhové události po celý rok a k tomu jsou asi v polovině případu doprovázeny i námrazovými jevy (Fisak, et al. 2009).



Obr. 9: Průměrné zastoupení intervalů výšky námrazy v jednotlivých měsících v období 2000—2004. Upraveno podle (Fisak, et al. 2009).

Z Obr. 10 vyplývá, že i přes to, že výskyt námrazových jevů na této lokalitě není v průběhu celého roku, má nezanedbatelný podíl na usazené depozici v chladnějších měsících v roce, zejména leden – březen a listopad – prosinec.



Obr. 10: Průměrné zastoupení námrazy v roce za období 2000—2004.

Upraveno podle (Fisak, et al. 2009).

Pro záchyt námrazy byl použit i modifikovaný pasivní kolektor mlhové vody. Po usazení námrazy byl odběrný válec uložen do uzavřené nádoby, aby se zamezilo kontaminaci a vzorek byl uložen do zařízení s teplotou 5 °C. Vzorem námrazy byl po roztání uložen do chladícího zařízení o teplotě 5 °C bez přístupu světla, aby se zamezilo fotochemickým jevům. Vodivost a pH byly změřeny hned po roztání vzorku (Fisak, et al. 2009).

Odběrný válec byl očištěn vodní párou a opláchnut demineralizovanou vodou. Poté byl znovu usazen na svojí měřicí pozici. Pokud se v průběhu měření objevili například sněhové srážky, nebo jiné události, které by kontaminovali vzorek, měření bylo přerušeno a vzorky nebyly použity (Fisak, et al. 2009).

Tab. 1: V pětiletém období 1999—2004 byly naměřeny roční extrémy výskytu námrazového sněhu v hodnotách dosahující 7,2 – 52,3 kg.m⁻² s maximálními výskyty v měsících leden a prosinec v časových intervalech 7:00 h až 18:00 h. Tabulka byla vytvořena na základě dat uvedených v (Fisak, et al. 2009).

Maximální naměřené hodnoty námrazy za období (1999—2004)				
Zimní období	Datum	Čas		Námraza
				Kg.m ⁻²
1999—2000	17.1.2000	7:10		7,2
2000—2001	24.1.2001	12:40		10,9
2001—2002	26.1.2001	20:40		26,8
2002—2003	28.12.2002	15:10		52,3
2003—2004	17.1.2004	18:00		18,1

Maximum pro sledované pětileté období (52,3 kg.m⁻²) bylo naměřeno 28. prosince 2002 v 15:10 v období od 12. do 28. prosince za mlhových situací při teplotě vzduchu okolo 0 °C a rychlosti větru nepřekračující 5 m. s⁻¹. Výjimka byla zaznamenána 21. až 22. prosince, kdy se zvýšila rychlost větru na 6 - 10 m.s⁻¹ s krátkodobým zvýšením teploty, což přispělo k ústupu námrazy (Fisak, et al. 2009).

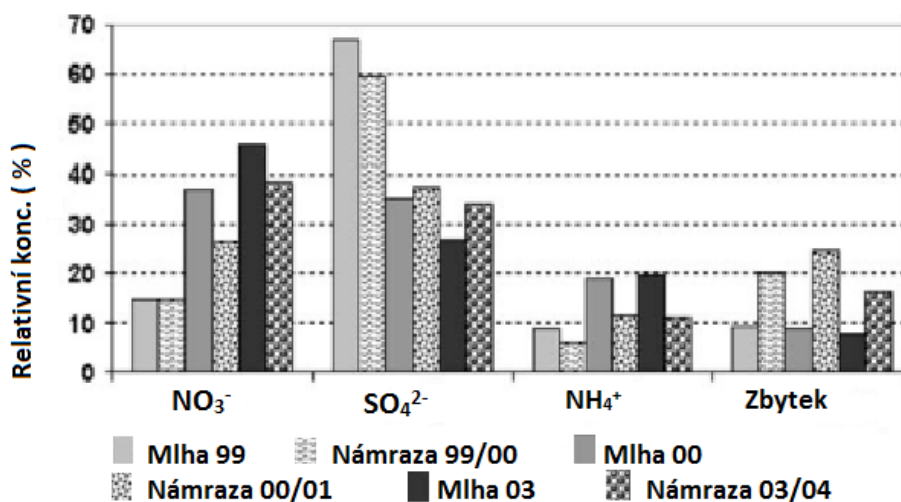
Tab. 2: Chemické složení námrazy za období 2000—2001 a 2003—2004. Tabulka byla vytvořena na základě dat uvedených v (Fisak, et al. 2009).

Chemické složení námrazy za období 2000/2001 a 2003/2004												
	Vzorek	Vodivost	pH	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
				mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹
Zima 00/01	1	111,60	4,90	5,91	3,16	4,70	2,07	11,77	3,65	0,37	13,22	22,90
	2	113,70	4,90	2,59	1,51	4,59	1,19	6,53	3,42	0,33	10,53	28,18
	3	68,90	4,60	0,75	0,41	4,71	0,22	1,45	1,12	0,25	6,34	14,04
	4	80,20	4,30	0,62	0,31	3,88	0,16	1,12	1,31	0,07	11,93	8,43
	5	173,20	5,40	3,22	1,09	12,74	0,72	5,42	5,24	0,39	29,51	27,08
	Průměr	109,52	4,70	2,62	1,30	6,12	0,87	5,26	2,95	0,28	14,31	20,13
Zima 03/04	1	249,00	5,10	XXX	XXX	16,93	XXX	XXX	8,45	0,19	38,39	56,37
	2	129,00	6,30	XXX	XXX	5,50	XXX	XXX	5,91	0,10	23,43	20,99
	3	124,00	3,80	1,30	0,55	4,20	0,15	0,93	2,18	0,09	20,25	9,65
	4	108,60	6,00	6,00	2,70	5,85	0,12	0,77	7,39	0,06	18,44	10,98
	5	135,00	3,80	0,60	0,49	4,64	0,24	1,41	0,97	0,09	21,92	12,05
	6	41,00	4,70	0,89	0,61	1,61	0,08	0,85	1,21	0,11	6,48	4,11
	7	47,40	4,60	2,26	0,28	1,22	0,28	1,31	2,96	0,05	7,42	4,47
	8	231,00	3,90	3,65	2,71	10,80	0,38	1,76	4,74	0,16	37,04	32,88
	9	103,00	3,90	0,71	0,48	2,66	0,12	0,81	1,38	0,09	9,41	10,06
	Průměr	129,80	4,20	2,20	1,12	5,94	0,20	1,12	3,91	0,10	20,31	17,95

Tab. 3: Chemické složení mlhové vody za období 2000/2001 a 2003/2004. Tabulka byla vytvořena na základě dat uvedených v (Fisak, et al. 2009).

Chemické složení mlhové vody pro období 2000/2001 a 2003/2004												
		Vodivost	pH	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
				mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹	mg x l ⁻¹
Zima 2000	celk.	167,10	4,20	0,98	0,99	15,02	0,29	1,72	2,73	0,29	29,23	27,76
Zima 2001	celk.	209,30	4,50	1,78	1,12	17,59	0,40	1,85	3,25	0,15	37,73	31,15
	Průměr	188,20	4,35	1,38	1,06	16,31	0,35	1,79	2,99	0,22	33,48	29,46
Zima 2003	celk.	157,70	4,60	1,13	0,52	14,47	0,22	1,04	2,34	0,26	33,33	19,53
Zima 2004	celk.	126,70	4,40	0,52	0,49	11,71	0,25	1,28	1,21	0,21	21,65	25,71
	Průměr	142,20	4,50	0,83	0,51	13,09	0,24	1,16	1,78	0,24	27,49	22,62

Při výzkumu se věnovalo nejvíce pozornosti koncentracím NH_4^+ , NO_3^- a SO_4^{2-} protože jejich zastoupení v celkové koncentraci je větší než 75 % (Obr. 11).

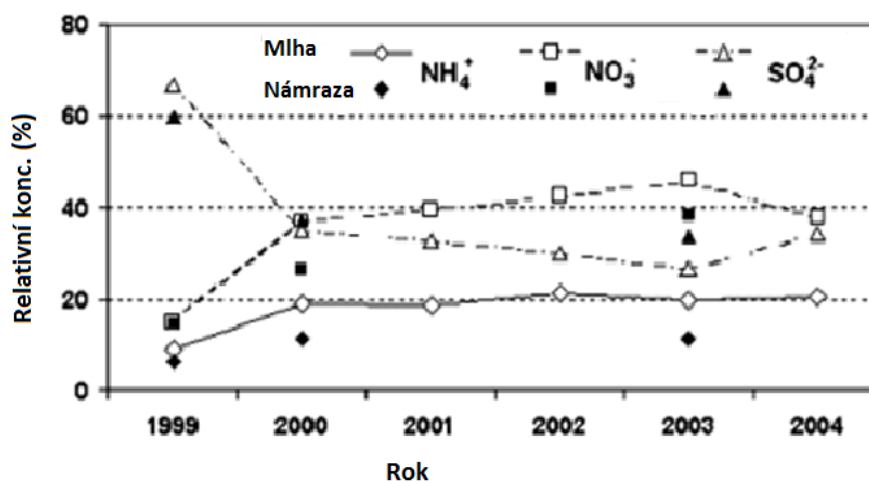


Obr. 11: relativní koncentrace sledovaných látek (NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-}) oproti zbytku.

Upraveno podle (Fisak, et al. 2009).

Když se soustředíme na koncentrace NH_4^+ , NO_3^- a SO_4^{2-} je vidět, že za období 2000—2001 je koncentrace NH_4^+ o 62 % vyšší v mlze než v námraze, pro období 2003—2004 se celková koncentrace NH_4^+ snížila, ale přesto byla v mlze stále vyšší o 55 %. Pro SO_4^{2-} je v období 2000—2001 větší koncentrace v mlze o 32 % a pro období 2003—2004 látky v mlze překračovaly koncentraci jen o 9 %. V případě obou těchto látek je patrný trend úbytku celkové koncentrace, který se víc projevuje v mlze než v námraze. V obou případech má námraza větší procentuální zastoupení v období 2003—2004 než 2000—2001. V případě koncentrací NO_3^- je vidět trend růstu koncentrace v námraze, zatímco v mlhové vodě mírně klesá. V období 2000—2001 je koncentrace NO_3^- vyšší v mlhové vodě o 58 %, zatímco v období 2003—2004 je to pouze 26 %. Celkový podíl námrazy na všech sledovaných iontech je asi 42 %.

Podle Tab. 2, 3 je koncentrace sledovaných látek v námraze látek nižší, než v mlhové vodě. Tento jev je připisován tomu, že v období vzniku námrazy je ve vzduchu obecně méně prachových částic, než při teplejších obdobích, kdy se sbírá mlhová voda. Taky rozdílné hodnoty LWC v jiných dobách sběru mohli způsobit větší naředění vzorku v námraze (Fisak, et al. 2009). K tomu, aby byl eliminován efekt LWC na koncentrace látek ve vzorcích, byly spočítány relativní koncentrace polutantů, které se vztahovali k průměrným koncentracím z Tab. 2, 3. Koncentrace byly spočítány zvlášť pro každé období.

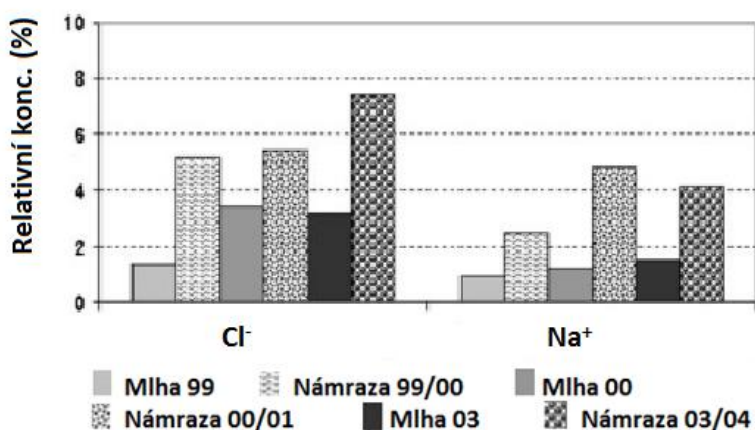


Obr. 12: Relativní koncentrace sledovaných iontů (NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-}) v mlhové a námrazové vodě za období 1999—2004. Upraveno podle (Fisak, et al. 2009).

Z Obr. 12. je vidět trend klesání koncentrace SO_4^{2-} v období 2000—2003, oproti tomu koncentrace NO_3^- roste, zatímco koncentrace NH_4^+ zůstává relativně neměnná. Tento trend je připisován snížení emisí SO_4^{2-} , díky změnám technologií a využitím „šetrnějších“ paliv. Naopak zvýšení koncentrace NO_3^- je připisováno zvýšení hustoty dopravy v blízkosti Milešovky.

Trendy poklesu, růstu, nebo stagnování koncentrace jsou podobné pro mlhu i námrazu, tedy když koncentrace jedné složky stoupá/klesá v mlze, bude stoupa/klesat i v námraze.

Zatímco koncentrace výše uvedených (NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-}) jsou až na výjimky vyšší v mlze, relativní koncentrace Cl^- a Na^+ vykazuje jiný trend, který je vidět na Obr. 13.



Obr. 13: Relativní koncentrace sledovaných iontů (Cl^- , Na^+) v mlhové a námrazové vodě za období 2000—2004. Upraveno podle (Fisak, et al. 2009).

Relativní koncentrace jsou pro oba ionty za celé sledované období výrazně vyšší v námraze, než v mlze. Hodnoty Cl^- jsou celkově vyšší, než Na^+ pro jakékoliv sledované období. Podle předchozích údajů by se dalo očekávat, že hodnoty budou menší v námraze, tento jev je možný přisoudit chemickému posypu silnic, prováděným v období tvoření námrazových jevů (Fisak, et al. 2009).

Z výše uvedených dat vyplývá, že horizontální depozice může přispívat vysokou měrou do celkové depozice. I když jsou koncentrace většiny sledovaných látek v námraze nižší, jejich podíl oproti mlze představuje asi 42 %. Díky tomu, že se vzorky námrazy a mlhy se nesbíraly za stejných podmínek, mohou být data rozdílu koncentrací mezi mlhou a námrazou nepřesná. Jasný dopad těchto podmínek nebyl zjištěn. Přesto je zřejmé, že i přes omezený výskyt námrazy v roce a možné nepřesnosti výsledků je podíl námrazy na usazené depozici nezanedbatelný.

4.2 Krkonoše

Měřicí stanice (Institute of Geography, University of Wrocław) na Polské straně Krkonoš se nachází na hoře Szrenica (1362 m n. m., Obr. 14).

Krkonošské pohoří je v tzv. Černém trojúhelníku, jednou z nejvíce znečištěných horských oblastí ve střední Evropě (Bridges et al. 2002, Elias 2002). Polská strana Krkonoš je přímo vystavená atlantským přímořským větrům. Lokalita vykazuje dobré podmínky pro vznik mlhových a námrazových jevů (Migala, et al. 2002).



Obr. 14: Lokalita hory Szrenica na česko-polských hranicích.

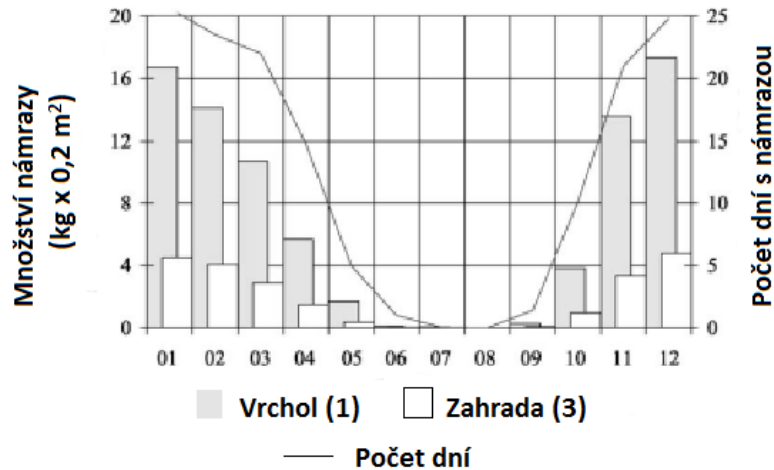
Upraveno podle (<http://holidays.staypoland.com/krkonose.aspx>).

Meteorologické podmínky pro tuto lokalitu se ročně velice liší a jsou ovlivňovány jak oceánskými (asi 65 %) tak kontinentálními (asi 30 %) vzdušnými masami. Na hoře Szrenica je asi 274 dnů s mlhovými událostmi, které dávají vznik průměrně asi 149 dnům s výskytem námrazy. Zatímco průměrná roční teplota se pohybuje okolo 2 °C, nejstudenější měsíc je leden (největší výskyt námrazy vykazují průměrné teploty okolo - 6,5 °C). Celkové srážky se pohybují okolo 1422 mm s největším zastoupením v období květen-srpen. Průměrná rychlost větru se pohybuje okolo 9,5 m. s⁻¹ nejčastěji (38 %) ze západu a jihozápadu. Tyto podmínky dávají za vznik hlavně zrnité formě námrazy (hard rime), která představuje asi 55 % všech námrazových jevů (Migala, et al. 2002).

Výsledky výzkumu

V období 1961—2000 byla provedena měření a analýzy námrazy pro zjištění jejich dopadů na celkovou depozici. Námraza byla měřena na dvou lokacích a to vrcholu (1362 m n. m.) a na západním svahu na „zahradě“ (1331 m n. m.).

Námraza je zachycována na válcovitý kolektor s povrchem 0,2 m². Vzorky jsou sbírány třikrát denně, kde se celkové denní vzorky počítají jako suma individuálních denních měření tedy tzv. „slévaný vzorek“ (Migala, et al. 2002).

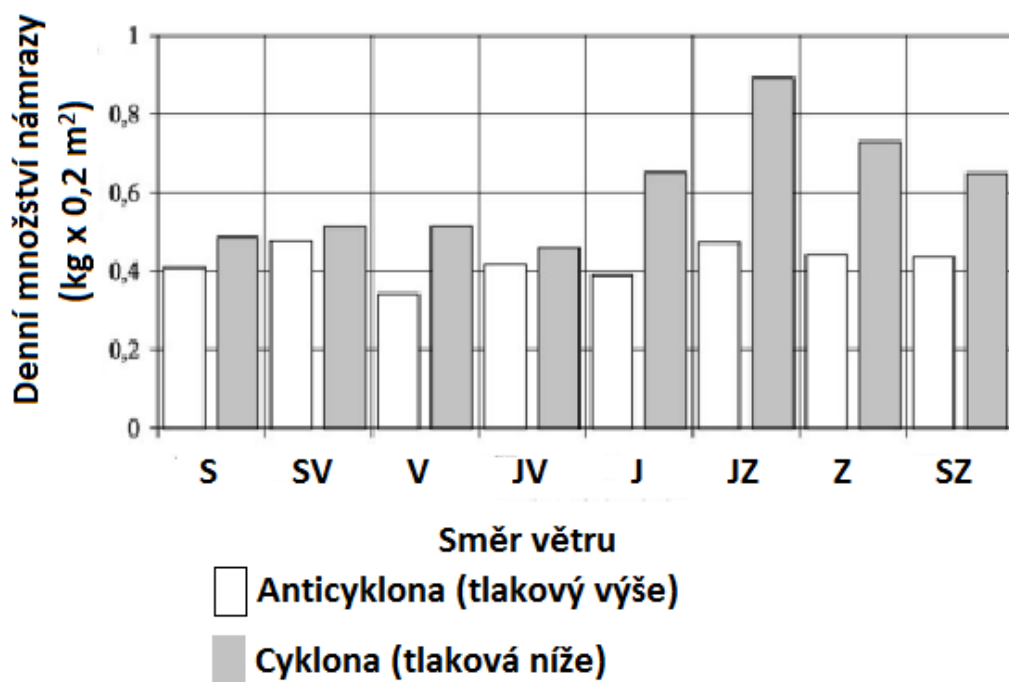


Obr. 15: Průměrné měsíční množství námrazy za rok.

Upraveno podle (Migala. et al. 2002).

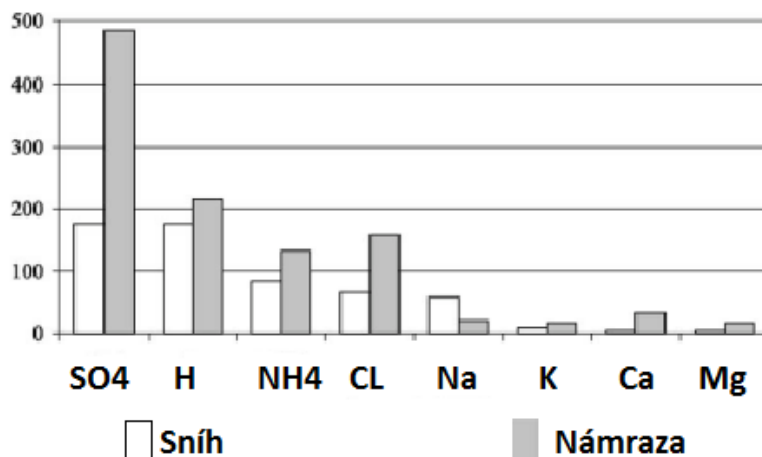
Z Obr. 15 je vidět, že leden a prosinec vykazují nejvyšší výskyt námrazy na obou lokacích, zatímco období červen až září je prakticky bez námrazy. Průměrné množství námrazy je za tyto měsíce několikanásobně vyšší na vrcholu (1), než v zahradě (2). V měsících s největším zastoupením námrazy hodnoty na vrcholu převyšují ty na zahradě až čtyřikrát, což je pro převýšení vrcholu (1) oproti zahradě (2) pouze 31 m veliký rozdíl. Tento jev je připisován tomu, že rychlost větru na zahradě (2) oproti vrcholu (1) je dvakrát až třikrát menší. Další faktor, který ovlivňuje tvorbu námrazy je LWC (Liquid Water Content), který ale může být negativně ovlivněn turbulencí na vrcholu, takže vliv LWC není úplně prokazatelný (Migala, et al. 2002).

Celkový roční pokryv námrazy se pohybuje kolem 83 kg na 0,2 m², za 149 průměrných dnů s námrazou to je asi 0,56 kg na 0,2 m² za den, které mohou být několikanásobně vyšší s příspěvkem sněhu, mrholení atd. (Migala, et al. 2002).



Obr. 16: Průměrná denní tvorba námrazy (1961—2000) podle tlakové výše/níže s orientací na světové strany. Upraveno podle (Migala K. et al. 2002).

Obr. 16: Ve všech případech byla tvorba námrazy větší (průměrně asi o 0,2 kg na 0,2 m²) za přítomnosti tlakové níže, zatímco při tlakové výši bylo průměrné množství námrazy přibližně stejné ze všech sledovaných stran, za tlakové níže jsou hodnoty mnohem více variabilní s největším podílem větru ze severu, severovýchodu a východu (Migala, et al. 2002).



Obr. 17: Porovnání koncentrace sledovaných látek v námraze a sněhu za sledované období 29. 1. — 11. 2. 1994. Upraveno podle (Migala K. et al. 2002).

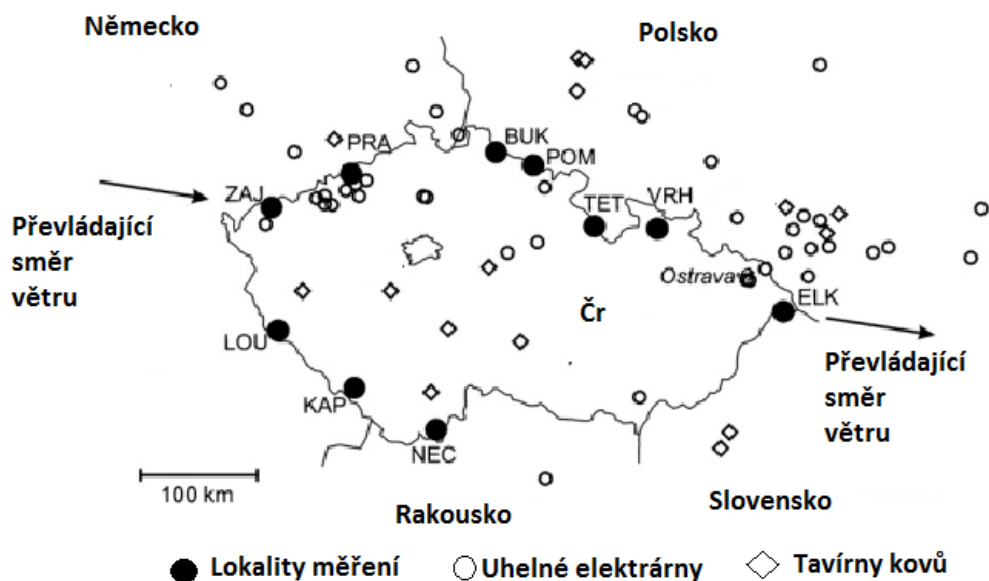
Obr. 17 ukazuje vysoký rozdíl mezi koncentracemi v námraze oproti sněhu.

Až na Na⁺ jsou koncentrace vždy větší v námraze, někdy dokonce více než dvojnásobně (SO₄²⁻, Cl). Tento jev může být způsobený tzv. „seeder-feeder“ efektem. „Seeder-feeder“ efekt je způsoben výstupem oblačnosti (feeder) přes pohoří, kde se obohacuje o ionty při kontaktu s nižšími oblaky (seeder). Když tedy zůstává u vrcholu svahu, jsou oblaka více nasycena ionty, než jak by to bylo v normální oblačnosti (AMS).

Z výše popsaného „seeder-feeder“ efektu plyne, že horské oblasti mají za určitých podmínek velký potenciál k tomu, aby byli námrazou deponované látky přítomné v mnohem větších koncentracích, než v jiných níže položených oblastech. „Seeder-feeder efekt působí i na normální srážky, ale koncentrace v mlze a námraze bývají přesto dvakrát až třikrát vyšší (Dore, et al. 1999, Dore et al. 2006).

4.3 Několik vybraných lokací v České republice

V letech 2009—2011 proběhl v České republice na 10 izolovaných horských lokacích (Obr. 18) výzkum měření koncentrací Beryllia (Be) v námraze a sněhu. Be je známé pro svoje toxické účinky a zajímá se jím hodně studií, speciálně jeho kumulaci v živých organismech. Rozpustnost Be je přímo závislá na pH. Při pH hodnotě okolo 7 je Be špatně rozpustné, tím pádem je málo dostupné pro organismy, ale jak se pH snižuje, jeho rozpustnost stoupá. Tato studie porovnává Be v rozpustné formě (dobře biologicky dostupné) a nerozpustné formě (méně biologicky dostupné) v námraze a sněhu za sledovaná zimní období. Všechny lokality (Obr. 18) jsou v blízkosti emisních zdrojů Be.



Obr. 18: Lokality měření v České republice. Všechny lokality jsou vzdáleny alespoň 5—10 km od nejbližší vesnice a asi 80 km od sebe. Upraveno podle (Bohdalkova, et al. 2012).

Výsledky výzkumu

Na každé z lokalit byly nainstalovány tři identická zařízení pro měření námrazy. Každé zařízení bylo umístěno 1,5 m nad pokrývkou sněhu, pokud se pokrývka zvýšila, byla podle toho výška zařízení upravena. Jedno zařízení sestávalo ze dvou polyethylenových obdélníků (14 cm x 20 cm x 2 cm). Vzorky ze všech tří zařízení (20 m až 50 m od sebe) byly analyzovány jako slévaný vzorek. Průměrný interval mezi sběrem vzorků námrazy byl asi 8 dní při průměrné teplotě asi – 5,5 °C. Pro sníh byly použity podobné metody s průměrným intervalem sběru vzorků asi 7 dní. Metody analýzy jsou popsány v (Bohdalkova, et al. 2012).

Tab. 6: Průměrní koncentrace Be v námraze a sněhu za sledované období 2009—2011

Tabulka byla vytvořena na základě dat v (Bohdalkova, et al. 2012).

Průměrné konc. Be v námraze a sněhu za sledované období 2009 — 2011						
Lokalita	Nadm. Výška (m n. m.)	Prům, roční teplota (°C)	Průměrná konc. za sledované období (ng.L ⁻¹)			
			Námraza Rozpust.	Sníh Rozpust.	Námraza Nerozsp.	Sníh Nerozsp.
ZAJ - Zaječí vrch	1008	4,8	8,7	3	2,9	3,8
PRA - Pramenáč	935	4,3	8,3	3,3	9,8	9
BUK - Bukovec	1006	2,5	6,9	2,3	4,2	7,8
POM - Pomezí hřeben	1183	1,5	10,6	3	4,5	9,3
TET - Tetřevce	987	4,7	24,1	2,8	21,4	5,5
VRH - Příčný vrch	954	4,9	18,6	3,7	7,1	8,7
ELK - Velký polom	1006	5,1	17,9	6,7	4,6	12,6
LOU - Kamenná loučka	925	4,8	11,3	2,5	2,7	4,6
KAP - Kapraď	941	4,7	6	1,2	5,3	4,4
NEC - Kamenec	988	4,4	xxx	1,8	xxx	28,8
Celkem průměr	xxx	xxx	12.2	2,8	13	9,3

Celková průměrná koncentrace rozpustného Be v námraze pro všechny lokace je až desetkrát vyšší než pro sníh zatímco pro nerozpustnou formu tak výrazný rozdíl pozorován není. Celkově největší naměřený podíl pro Be je v lokalitách TET, VRH, ELK, které se nacházejí na Severo-východní části České republiky s větším počtem okolních emisních zdrojů (Obr 18). Lokality s nejmenší naměřenou koncentrací jako NEC a KAP se nachází na jihu republiky, tedy relativně čisté oblast oproti severní části Čech (Bohdalkova, et al. 2012, Obr. 18).

Důvodem tak vysokého rozdílu koncentrací mezi námrazou a sněhem může odlišný vznik a průběh těchto jevů. Jak už bylo zmíněno, námraza se tvoří usazováním přechlazených částic mlhy na povrchu. Už bylo řečeno, že mlha obsahuje větší koncentrace látek, než jiné části vertikální depozice (Lange et al. 2003). Oproti tomu sněhové srážky vznikají, když dešťové kapky vody zamrzají na kondenzačních jádrech za tvoření krystalků ledu. Velikost částic v mlze je obecně menší než velikost částic v dešťových kapkách, tím pádem je jejich depozice na určitý povrch účinnější a efektivněji zachycují látky v atmosféře, protože jejich koncentrace na zachyceném povrchu bude vyšší. To taky může přispívat jejich větší rozpustitelnosti (Bohdalkova, et al. 2012).

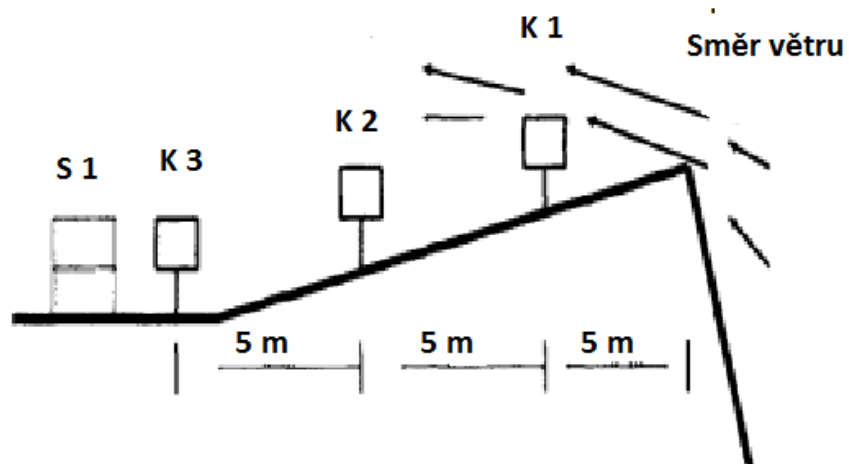
Tím, že námraza obecně deponuje spíše menší částice, než sníh může způsobit to, že sníh bude reflektovat spíše lokální zdroje, zatímco námraza bude zachycovat spíše menší částice z lokálních i vzdálenějších zdrojů (Bohdalkova, et al. 2012). Tento jev byl už pozorován pro As v (Doušová, et al. 2007).

4.4 Kaskádové pohoří (Central Washington cascades)

V období leden - březen 1989 proběhl výzkum na východní straně pohoří Washingtonského kaskádového pohoří v Severní Americe. Dříve už bylo zjištěno, že většina depozice probíhá v zimě ve formě sněhových srážek a námrazových jevů. Lokalita měření (Mission ridge 2054 m n. m.) je v relativní blízkosti městských oblastí 20—130 km (Duncan 1992).

Výsledky výzkumu

Tři námrazové kolektory (K 1, K 2, K 3) byly postaveny na svahu s jedním kolektorem sněhu (S 1) (Obr. 19).



Obr. 19: Schéma postavení měřících zařízení na vrcholu Mission ridge.

Upraveno podle (Duncan 1992).

Vzorky byly sbírány v intervalu 1 až 7 dní. Za sledované období leden - březen 1989 bylo sebráno 8 reprezentativních vzorků sněhu a námrazy při průměrné rychlosti větru 5,3 m.s⁻¹ a průměrné teplotě -7 °C. Z množství sebraných vzorků byla zjištěna závislost tvorby námrazy na vystavení větru a výšce kolektoru. Kolektor (K 1) byl více vystaven větru a celkově akumuloval větší množství námrazy než níže položené K 2, 3 (Duncan 1992, Tab. 5).

Tab. 5: Průměrné koncentrace ze dvou kolektorů (K 1 a S 1). Koncentrace jsou vyjádřeny „mikroekvivalentech na 1 l“ (ueq.L⁻¹) více o této metodě je popsáno v (Duncan 1992). Tabulka byla vytvořena na základě dat v (Duncan 1992).

Průměrné koncentrace z kolektoru 1 (K 1) a kolektoru (S 1)											
	pH	H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	
K 1	5,69	2	10,5	2,2	3,6	17,2	18,3	12,4	18,4	12,5	
S 1	5,7	2	5,9	1,3	1,1	4,3	7,6	10,9	5,8	3	

Z Tab. 4 je patrné, že zatímco pH je srovnatelné u obou lokalit, koncentrace jsou pro všechny látky vyjma H⁺ vyšší v námraze. Pro NH₄⁺ a Na⁺ je vidět extrémní rozdíl koncentrací v námraze oproti sněhu, kde jsou koncentrace až čtyřikrát nižší.

I když už byla v jiných studiích (Chum, Migala, et al. 2002) vyjádřena závislost tvorby námrazy na výšce kolektoru, není dobré rozdíl koncentrací připisovat jenom rozdílnému umístění měřících zařízení. Podle výsledků publikovaných v (Duncan 1992) jsou koncentrace na kolektoru 3 (K 3), který leží na relativně stejném místě alespoň pro Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} několikrát vyšší. Námraza skoro ve všech případech obsahuje větší množství sledovaných iontů než sněh. K tomu je ještě potřeba zmínit, že informace publikované v (Puxbaum et al. 1998) tvrdí, že ionty naměřené ve sněhu, nemají původ jenom ze sněhových srážek, ale námraza se může tvořit i na sněhových krystalcích a přispívat až 20 % k celkovému množství sněhu.

5 Shrnutí výsledků

Z výše popsaných lokalit a výsledků výzkumu je vidět, že námraza zaujímá velký podíl na celkové zimní depozici. S rostoucí nadmořskou výškou roste počet dní s námrazou a její intenzita. Koncentrace látek v námraze bývají zpravidla až několikanásobně větší než v jiných částech vertikální depozice (Bohdalkova, et al. 2012, Duncan 1992, Migala K. et al. 2002). To je zapříčiněno tím, že mlha, z které se námraza tvoří, obsahuje větší koncentrace těchto látek, než vertikální srážky (Lange et al. 2003).

Bylo také uvedeno, že námraza může deponovat látky, které pocházejí ze vzdálenějších emisních zdrojů, než sněhové srážky (Bohdalkova, et al. 2012). Význam námrazy převažuje hlavně v lokalitách vystaveným silným povětrnostním podmínkám a časté oblačnosti, která může být orograficky posílena v závislosti na tvaru reliéfu a stoupání oblačnosti přes vrcholy pohoří tzv. „seeder-feeder“ efektu (Duncan 1992., AMS). Ionty jako Cl^- , Na^+ , NH_4^+ , NO_3^- pravidelně vykazují větší koncentrace v námraze než ve sněhu. Koncentrace SO_4^{2-} , jedné z nejdůležitějších acidifiukujících složek atmosféry, vykazuje největší obohacení v námraze oproti sněhu.

6 Závěr

Výskyt námrazy hraje důležitou roli především v nadmořských výškách přesahujících 800 m n. m. V těchto lokalitách se námraza vyskytuje většinou ve více než polovině roku a s rostoucí nadmořskou výškou roste průměrný počet dní s jejím výskytem. Bylo zjištěno, že schopnost námrazy kumulovat látky z ovzduší může až několikanásobně přesahovat schopnosti jiných částí mokré depozice, nebo se jim alespoň vyrovnat. Je těžké přesně určit podíl námrazy na celkové depozici, jelikož jsou podmínky pro její vznik velice variabilní a mění se v závislosti na konkrétních lokalitách, k tomu může zasahovat i do jiných částí mokré depozice. Měření námrazy většinou probíhají ke zjištění jejího množství a doby trvání, ale méně často k zjištění koncentrací látek v ní obsažených. Určitě je potřeba větší pokrytí měřícími stanicemi a častější analýzy složení námrazy. I přesto jsou dostupná data, která dokazují, že námraza v určitých lokalitách přispívá významnou měrou do celkového přenosu látek z atmosféry na zemský povrch.

7 Seznam použité literatury

- Banitalebi Dehkordi H., Farzaneh M., Kollar L.E., Van Dyke P. (2013): The effect of droplet size and liquid water content on ice accretion and aerodynamic coefficients of tower legs, *Atmospheric environment* 132 – 133, 362 - 374
- Baronowski S., Liebersbach J., (1977): The Intensity of Different Types of Rime on the Upper Tree Line in the Sudety Mountains, *Journal of Glaciology* 19
- Bezrukova N.A. Richard K. J., Khalili M.F., Minina L.S., Ya A., Naumov, Stulov E.A., (2006): Some statistics of freezing precipitation and rime for the territory of the former USSR from ground-based weather observations, *Atmospheric research* 82, 203–221
- Blaženec M., Střelcová K., Škvarenina J. (2007): Zkušenosti z Měření Usazených Atmosférických Srážek na Stacionární Ploše Rájec-Němčice, *Bioclimatology an Natural Hazards*, 17-20
- Bohdalkova L., Novak M., Voldrichova P., Prechova E., Veselovsky F., Erbanova L., Krachler M., Komarek A., Mikova J., (2012): Atmospheric Deposition of Beryllium in Central Europe: Comparison of Soluble and Insoluble Fractions in Rime and Snow Across a Pollution Gradient, *Science of the Total Environment* 439, 26-34
- Braníš M., Hůnová I., (2009): *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*, Karolinum Praha 1, vydání první ISBN 978-80-246-1598-1
- Bridges K., Brigman H.A., Davies T.D, Jickells T., Hunova I., Tovey K., Surapipith V., (2002): Air Pollution in the Krusne Hory, Czech Republic during 1900s, *Atmospheric Environment* 36, 3375-3389
- Coufal L. (HMÚ): *Proudění nad střední Evropou*
- Dong-Hai W., Jin-Fang Y., Guo-Qing Z., Huan-Bin X. (2014): An investigation into relationship between liquid water content and cloud number concentration in the stratiform clouds over China, *Atmospheric research* 139, 137-143

- Dore A. J., Migala K., Sobik M. (1999): Patterns of precipitation and pollutant deposition in the western Sudete mountain, Poland, *Atmospheric research* 33, 3301 – 3312
- Dore A.J., Choulaton T.W., Fowler D., Mousavi-Baygi M., Hall J., Smith R.I. (2006): A model of orographic precipitation and acid deposition and its application to Snowdonia, *Atmospheric environment* 40, 3316 - 3326
- Doušová B., Erbanová L., Novák M. (2007): Arsenic in atmospheric deposition at the Czech–Polish border: Two sampling campaigns 20 years apart, *Science of the environment* 387, 185 - 193
- Duncan L.C. (1992): Chemistry of Rime and Snow Collected at a Site in the Central Washington Cascades, *Environ. Sci. Technol.* 26, 66-74
- Elias V., Fottova D., Fisak J., Tesar M., Rezacova D., Weignerova V. (2002): Pollutant Concentration in Fog and Low Cloud Water at Selected Sites of the Czech Republic , *Atmospheric research*, 64, 75-87
- Elston D. A., Ferrier R. C., Jenkins A. (1995): The composition of rime ice as an indicator of the quality of winter deposition, *Environmental Pollution* 87, 259–266
- Encyclopedia of atmospheric science (Eoas), Academic press 2003 Vol. 1, ISBN 0-12 227090-8
- Fisak J., Fottova D., Tesar M. (2009): Pollutant Concentrations in Rime and Fog Water at the Mílesovka Observatory, *Water Air Soil Pollut* 196, 273-285
- Fišák J., Tesař M., (2015): Evaluation on the contribution of deposited precipitation, *Advances in meteorology*, *Advances in meteorology*, Article ID 472963, 7 pages
- Foster J. R. (1988): The potential role of rime ice defoliation in tree mortality of wave-regenerated balsam fir forests, *Journal of ecology* 76, 172 - 180
- Fottová D., Tesař M., Šír M. (2004): Usazené srážky na Šumavě (Deposited precipitation in the Bohemian Forest), *AKTUALITY ŠUMAVSKÉHO VÝZKUMU II*, 79-83
- Hůnová I., Prošková J., (2006): Přístupy k hodnocení atmosférické depozice usazených srážek, *Meteorologické zprávy*, 59

- Chum J., Vojta J., Hošek J., Automatic measurement of icing on the west of the Czech republic, Institute of atmospheric physics
- Iacob M., Puțunică A., Sofroni V. (2009): Evaluation of the Rime Phenomenon in the Republic of Moldova, Present Environment and Sustainable Development, Present Environment and Sustainable Development NR. 3
- Konček M. (1950): Výsledky pozorování námrazy na Lomnickém štítě v r. 1941 – 1944 a 1947 – 1949, Český hydrometeorologický ústav 47458 H5292
- Lange C. A., Matschullat J., Zimmerman F., Sterzig 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
- Migała K., Liebersbach J., Sobik M. (2002): Rime in the Giant Mts. (The Sudetes, Poland), Atmospheric research 64, 63–73
- Namieśnik J., Polkowska Z., Skarżyńska K., (2006): Sample Handling and Determination of Physico-Chemical Parameters in Rime, Hoarfrost, Dew, Fog and Cloud Water Samples – a Review, Polish J. Environ. Stud.15, 185-209
- Polopanský F. (1996): Měření námrazy ve Studnicích, Meteorologické zprávy 49, 182-186
- Puxbaum H., Tschewenka W. (1998): Relationships of major ions in snow fall and rime at sonnblick observatory (SBO, 3106 m) and implications for scavenging processes in mixed clouds, Atmospheric environment 32, 4011–4020
- Vrána J. (1986): Námraza a její předpověď – Námrazové kalamity v energetice na území ČSR 9, Český hydrometeorologický ústav 40071, N 1826/9

Ostatní zdroje:

<http://www.tdee.ulg.ac.be/doc-28.html>

Zdroj 2: Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), ČMeS, dostupný na:

<http://slovník.cmes.cz>

Zdroj 3: Nepublikovaná data ČHMU

Zdroj 4: American Meteorological Society 2015 (AMS)