

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Ústav pro životní prostředí
Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí
Studijní obor: Ochrana životního prostředí

Bakalářská práce
Znečištění ovzduší na Šumavě
Ambient air quality in the Šumava Mts.



Řešitel: Michal Fišer

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Iva Hůnová, CSc.

Srpen 2009

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím citované literatury.

V Praze dne 28. 8. 2009

Fišer Michal

Fišer Michal

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat RNDr., Ivě Hůnové, CSc. za její ochotnou pomoc a rady při zpracování bakalářské práce.

Obsah

1 Seznam použitých zkratk	3
2 Úvod	5
3 Národní park a Chráněná krajinná oblast Šumava	6
3.1 Geologie	6
3.2 Hydrologie	6
3.3 Podnebí	7
3.4 Fauna	7
3.5 Flóra	7
3.6 Ochrana přírody	7
4 Podnebí	8
5 Historie měření klimatických jevů na území Šumavy	10
6 Meteorologická stanice Churáňov	11
7 Měření kvality ovzduší	12
8 Znečišťující látky	12
8.1 Imisní koncentrace As, Cd, Ni a Pb	12
8.2 Imisní koncentrace oxidu siřičitého	13
8.3 Imisní koncentrace oxidů dusíku	14
8.4 Imisní koncentrace oxidu dusičitého	14
8.5 Imisní koncentrace oxidu dusnatého	15
8.6 Imisní koncentrace aerosolu frakce PM ₁₀	15
8.7 Imisní situace přízemního ozonu	16
8.7.1 Vliv přízemního ozonu na vegetaci a ekosystémy	17
9 Emisní zdroje ovlivňující Šumavu	18
10 Atmosférická depozice	19
10.1 Mokrý atmosférická depozice	19
10.1.1 Vertikální atmosférická depozice	19
10.1.2 Horizontální atmosférická depozice	20
10.2 Suchá atmosférická depozice	20
10.3 Metody zjišťování atmosférické depozice	22
10.4 Kyselá atmosférická depozice	22
10.5 Usazené (horizontální) srážky	24

11 Typy mlh na Šumavě	27
11.1 Mlhy místní	27
11.2 Mlhy advekční	27
11.3 Mlhy frontální	28
11.4 Mlhy radiační	28
12 Biomonitoring	29
13 Národní park Bayerischer Wald	33
14 Závěr	35
15 Seznam použité literatury	36

1 Seznam použitých zkratk

AIM	Automatizovaný imisní monitoring
AOT40	Accumulated Exposure over Threshold of 40 ppb Kumulovaná expozice nad prahovou hodnotou 40 ppb
ČGS	Česká geologická společnost
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
IAP	Index of Atmospheric Purity Index atmosférické čistoty
ICP - Vegetation	International Cooperative Programme - Vegetation Program sledující dopady znečištění ovzduší na přirozenou vegetaci a plodiny
EiO	Exchange of Information Rozhodnutí 97/101/EC o výměně informací o kvalitě ovzduší
GEOMON	Global Earth Observation and Monitoring Globální pozorování a monitorování Země
HBÚ AV ČR	Hydrobiologický ústav Akademie věd České republiky
MAB	Man and Biosphere Mezivládní program UNESCO, jehož součástí jsou i biosférické rezervace
MAGIC	Model of Acidification of Groundwater in Catchments Model acidifikace podzemních vod v povodí
MS	Meteorologická stanice
MŽP ČR	Ministerstvo životního prostředí České republiky
NO	Oxid dusnatý
NO ₂	Oxid dusičitý
NO _x	Oxidy dusíku
NP	Národní park
NPR	Národní přírodní rezervace
PM ₁₀	Particulate matter Respirabilní frakce prašného aerosolu s aerodynamickým průměrem 50 % částic menším než 10 µm
REZZO	Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší
hl. m. Praha	hlavní město Praha

CHKO	Chráněná krajinná oblast
CHOPAV	Chráněná oblast přirozené akumulace vody
SO ₂	Oxid siřičitý
SRN	Spolková republika Německo
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization Organizace Spojených národů pro výchovu, vědu a kulturu

2 Úvod

V bakalářské práci se budu zabývat hodnocením kvality ovzduší na území Národního parku a Chráněné krajinné oblasti Šumava (dále jen NP a CHKO), označovaném za jedno z nejčistších a nejméně zasažených oblastí antropogenní činností v České republice (dále jen ČR) i v Evropě, a to k překročení misních limitů u znečišťujících látek (SO_2 , NO, NO_2 , NO_x , PM_{10}) měřených na území NP a CHKO Šumava, neboť jejich překročení má negativní vliv na vegetaci, ekosystémy a lidské zdraví.

Větší pozornost zaměřím na koncentrace přízemního ozonu, protože naměřené hodnoty překračují cílové imisní limity pro přízemní ozon (AOT40) pro ochranu ekosystémů i vegetace a proto také popíši negativní vliv této sekundární škodliviny na rostliny.

Popíši rovněž jednotlivé klimatologické jevy jako jsou: teplota vzduchu, množství srážek, vlhkost vzduchu, sluneční záření, směr a rychlost větru na území NP a CHKO Šumava pro přiblížení podnebí.

Na území Šumavy se nachází meteorologická stanice Churáňov, svou činnost započala již v roce 1955 a od roku 1988 probíhá zjišťování koncentrací u vybraných znečišťujících látek. Jedná se o jedinou profesionální synoptickou pozorovatelnu Českého hydrometeorologického ústavu na území NP a CHKO Šumava.

Pozornost budu věnovat přítomnosti a koncentraci hlavních látek znečišťujících ovzduší prostřednictvím biomonitoringu, protože na Šumavě proběhla řada měření využívající biologické objekty k monitorování časových změn kvality prostředí.

Další významnou kapitolou bude atmosférická depozice, neboť na území Šumavy probíhá zjišťování množství a koncentrace usazených srážek, který má významný vliv na ekosystémy. Podrobněji popíši také jednotlivé typy mlh vyskytujících se na území Šumavy, protože přispívají velkou měrou na množství usazených srážek.

Na území NP Šumava bezprostředně navazuje NP Bayerischer Wald na německé straně Šumavy a proto rovněž popíši kvalitu ovzduší na území NP.

3 Národní park a Chráněná krajinná oblast Šumava

Národní park a Chráněná krajinná oblast Šumava se rozprostírá podél státních hranic se Spolkovou republikou Německo (dále jen SRN) a s Rakouskem. Se svou rozlohou 68 520 ha je NP Šumava nejrozsáhlejším NP České republiky. Přírozené ochranné pásmo tvoří CHKO Šumava s rozlohou 94 500 ha. Na území Šumavy se nachází jeden z nejucelenějších lesních komplexů ve střední Evropě, kde výměra lesních pozemků tvoří celých 80 % území NP.

Na německé straně v délce 45 km navazuje na NP Šumava Nationalpark Bayerischer Wald (NP Bavorský les) s rozlohou 24 250 ha založen v roce 1970. Oba NP vytváří jeden z největších bilaterálních národních parků Střední Evropy.

3.1 Geologie

Šumava je částí jádra Českého masívu, tzv. šumavskou větví moldanubika, které je tvořeno z převládajících hornin: ruly, svory, granulity a žuly.

Krajinným typem se jedná o hornatinu, vyvrátněnou v paleozoiku a později zarovnanou v parovinu. Naposled byla Šumava vyzdvížena v terciéru jako důsledek saxonských pochodů. Nejvyšší horou národního parku a české strany Šumavy je Plechý s nadmořskou výškou 1 378 m, dále Velká Mokrůvka (1 370 m) a Blatný vrch (1 367 m).

3.2 Hydrologie

V nadmořské výšce 1 162 m v blízkosti Černé hory pramení naše nejdelší řeka Vltava (430 km). Mezi další významné toky pramenící v oblasti Šumavy patří Otava, Úhlava, Blanice a Volyňka.

Území je významnou evropskou pramennou oblastí a proto bylo v roce 1979 vyhlášeno za chráněnou oblast přírozené akumulace vod (CHOPAV).

Na území Šumavy leží osm glaciálních jezer (na německé straně Roklanské jezero, Malé a Velké Javorské jezero), největší a nejhlubší z jezer je Černé jezero s plochou 18,6 ha, dále Čertovo jezero (10,34 ha), Plešné jezero (7,48 ha), Prášilské jezero (3,72 ha) a nejmenší ledovcové jezero Laka (2,78 ha).

Šumavská rašeliniště patří mezi nejrozsáhlejší komplexy postglaciálních horských rašelinišť s výskytem mnoha rašelinných jezírek (největší počet jezírek se nachází v Chalupské slati).

3.3 Podnebí

viz samostatná kapitola 4.

3.4 Fauna

Šumava je domovem původní středoevropské lesní zvěře. Z větších šelem je na území zastoupen pouze reintrodukovaný rys ostrovid (*Lynx lynx*). Mezi další významné zástupce fauny patří tetřívka obecná (*Tetrao tetrix*) žijící na rašeliništích a otevřených mokřadech, dále tetřev hlušec (*Tetrao urogallus*), kde populace žijící na české a německé straně představuje poslední životaschopnou populaci v evropských středohorách.

Šumavu obývá i mnoho dalších vzácných druhů živočichů, jako jsou např.: datlík tříprstý (*Picoides tridactylus*), puštík bělohlavý (*Strix uralensis*), perleťovec mokřadní (*Proclossiana eunomia*), myšivka horská (*Sicista betulina*) aj.

3.5 Flóra

Převážná část území je řazena do oblasti hercynské květeny. Šumava je jádrem výskytu čtyř endemických taxonů se širším rozšířením v rámci Českoněmecké vysočiny. Jedná se o oměj šalámounek (*Aconitum plicatum*), hořeček mnohotvárný český (*Gentianella praecox subsp. bohemica*), zvonečník černý (*Phyteuma nigra*) a prstnatec májový rašelinný (*Dactylorhiza majalis subsp. turfosa*).

Mezi vzácné druhy bylin patří: šidlatka jezerní (*Isoetes lacustris*), šidlatka ostnovýtrusná (*Isoetes echinospora*), všivec žezlovitý (*Pedicularis sceptrum-carolinum*), hořec panonský (*Gentiana pannonica*) aj.

3.6 Ochrana přírody

V roce 1963 byla zřízena výnosem Ministerstva školství a kultury ČSR č.j. 53855/1963 na ploše 163 000 ha CHKO Šumava. Národní park byl vyhlášen nařízením vlády ČR č. 163/1991 Sb. v jádrové oblasti CHKO.

V roce 1990 byla CHKO a později i NP zařazen mezi biosférické rezervace v programu MAB UNESCO. Lokalita Šumavská rašeliniště patří do sítě lokalit evidovaných Ramsarskou konvencí. Šumava patří mezi významné ptačí oblasti a je zařazena do mezinárodní soustavy NATURA 2000.

4 Podnebí

Podle klimatického členění náleží většina Šumavy do chladné oblasti střeoevropského typu podnebí. Pouze některá místa Šumavy (údolí Vltavy od Lenory a jižní svahy Želnavské hornatiny spolu s částmi Šumavského podhůří) zařazujeme do mírně teplé oblasti (Strnad 2003).

Dalším ukazatelem podnebí je index termické kontinentality podle Gorczyńského vztahu, pokud do tohoto vztahu dosadíme potřebné údaje (zeměpisná šířka a roční amplituda teploty) získáme hodnoty pro MS Churáňov 17,6 % (Bednařík 2002), Kvilda 17,4 % a Březník 15,4 % (Nekovář 1966). Zjištěná data nám ukazují na přechodný charakter podnebí mezi oceánským a kontinentálním, v němž nalezneme poměrně malé roční výkyvy teploty a vysoké srážky se stejnoměrným rozložením během roku.

Pro bližší přiblížení podnebí Šumavy krátce popíšeme základní meteorologické prvky zpracované dle Strnada (2003) jako jsou teplota vzduchu, srážky, vlhkost vzduchu, sluneční svit, směr a rychlost větru.

Teplota vzduchu

Průměrná roční teplota pro oblast Šumavy se pohybuje v závislosti na nadmořské výšce, a to od 6 °C (750 m n. m.) do 3 °C (1 300 m n. m.). K nejchladnějším místům na Šumavě patří Šumavské pláň, v této oblasti proběhly měření teplotní inverze, které se vytvářejí v jakékoliv roční době a při jakémkoliv typu povětrnostní situace (Křivancová 1999, Křivancová 1991). Měření teplotních inverzí proběhla v období let 1986 – 1997 na stanicích Jezerní slat' I, Jezerní slat' II a Churáňov.

Mezi nejteplejší měsíc patří červenec a naopak nejchladnější je leden. Absolutně nejvyšší naměřená hodnota činila 36,8 °C (27.7. 1983 v Kašperských Horách), nejnižší zaznamenaná teplota byla -41,6 °C (30.1. 1987 na Jezerní slati).

Počet tropických dnů, kdy je maximální teplota 30 °C a vyšší, naměřených během třicetiletého období, byl celkem v pěti letech. Letní dny (teplota 25 °C a vyšší) se vyskytly každoročně vyjma roku 1979. Dny s maximální teplotou nad 20 °C jsou naměřeny nejčastěji v červenci, nejčastější výskyt těchto dnů byl v roce 1983 (59 dnů), nejméně v roce 1984 (18 dnů). Mrazové dny (-0,1 °C a nižší) se mohou vyskytovat denně během měsíců prosince, ledna a února. Ledové dny (maximální teplota do -0,1 °C) s nejvyšším počtem (94 dnů) byly zjištěny v roce 1956. Dny se silným mrazem s minimální teplotou -10,1 °C se vyskytovaly každoročně až na rok 1974. Dny s mrazem -20,0 °C se vyskytly v deseti letech za třicetileté zpracování údajů.

Arktické dny (maximální teplota $-10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) byly naměřeny za sledované období v devatenácti letech.

Srážky

Oblast Šumavy lze rozdělit do tří srážkových pásem. První z nich leží na státní hranici se SRN, jedná se o tzv. návětrnou část Šumavy. Druhé pásmo se vyskytuje na vrcholových partiích Šumavy. Třetí pásmo s vrcholy Javorník, Libín, Blanský les s Kletí a s jejich severními a severovýchodními svahy se označuje jako tzv. závětrná část Šumavy, kde dochází poměrně největšímu zeslabení srážek během západní cyklonální povětrnostní situace způsobené sestupnými proudy do vzdálenosti 20 až 40 km od státních hranic se SRN (Brádka 1970).

Nejnižší srážky jsou naměřeny v Podhůří Šumavy v oblasti vyznačeném městy České Budějovice – Vodňany – Volyně a v prostoru severně od Kaplice.

Na množství spadlých srážek má vliv i působení alpského föhnu, který vydatnost srážek snižuje v teplé polovině roku a má vysušný vliv (Nekovář 1966).

Naopak nejdeštivějšími oblastmi jsou Březník (1 552 mm), Modrava (1 337 mm) a Světlé Hory (1 274 mm).

Zimní srážky tvoří v centrální oblasti Šumavy až 40 % z ročních srážek. Souvislá sněhová pokrývka leží v nejvyšších polohách příhraničního hřebene Šumavy 120 – 150 dní.

Vlhkost vzduchu

Roční průměr relativní vlhkosti vzduchu se pohybuje kolem 80 % v převážné části Šumavy. Nižší hodnotu lze nalézt na severovýchodním okraji a v nižších polohách. Roční kolísání je poměrně malé, maximum připadá na měsíc prosinec.

Sluneční svit

Délka slunečního svitu v zeměpisné poloze Šumavy kolísá od 8 hodin a 11 minut v prosinci do 16 hodin a 13 minut v době letního slunovratu.

Minimum slunečního svitu připadá dle dlouhodobého průměru na měsíce prosinec nebo listopad.

Směr a rychlost větru

Z měření (Coufal 1963, Křivancová 2002) provedených ve vrcholových partiích Šumavy na MS Churáňov lze říci, že směr převládajícího větru je WSW.

Průměrná hodnota rychlosti větru za sledované období 1961 – 2000 činila 3,7 m.s⁻¹. Maximální denní nárazy větru za období 1981 – 2000 byly 12,5 m.s⁻¹.

5 Historie měření klimatických jevů na území Šumavy

První výzkumy šumavského podnebí nacházíme na počátku 19. století. Jednalo se většinou o stanice IV. řádu (tedy o srážkoměrné), nejstarší z nich evidujeme v Srní, její provoz započal v roce 1818 a byl ukončen v roce 1845. Jako další následovaly stanice: Sušice (1820 – 1825), Vyšší Brod (1828 – 1843), později Český Krumlov (1832 – 1841), Prášíly (1848 – 1850) a Vimperk (1848 – 1850) (Chábera et al. 1987).

Činnost všech meteorologických stanic byla během jejich provozu několikrát přerušena a proto nemáme k dispozici souvisle naměřené hodnoty.

Koncem 19. století dosahovala síť měřících stanic hustotu dokonce vyšší než je v současné době. Pouze v centrální části Šumavy se jednalo o měřící stanice: Březník (Pürstling), Bučina (Buchwald), Červená-Freid, Filipova Hut' (Filippshütten), Hrádky (Schlosswald), Kašperské Hory (Bergreichenstein), Kozí Hřbet (Hochreith), Kvilda (Aussergefeld), Modrava (Mader), Nové Hutě (Kaltenbach), Schätzuv Les (Schätzenwald), Srní (Rehberg), Vimperk, Výhledy (Schrollenhaid), Zdíkov, Zhůří (Haidl), Zlatá Studna (Goldbrunn), Ždánov (Metzelhof) (Vavruška 2002).

V této síti se objevovaly již meteorologické stanice III. řádu, kde probíhalo měření srážek a teploty vzduchu, např. MS Zlatá Studna. Pouze meteorologická stanice Vimperk byla řazena mezi stanice II. řádu (zjišťování obvyklých meteorologických prvků mezi které patří teplota a vlhkost vzduchu, oblačnost a sluneční svit, směr a síla větru a množství srážek) (Chábera et al. 1985).

Později byly zbudovány stanice II. řádu v Horních Světlých Horách, v Palvínově u Hartmanic a v Novém Dvoře u Zdíkova.

Ve vrcholových polohách existovaly před zřízením MS Churáňov v oblasti Šumavy pouze tři stanice: Libín (1895 – 1898, 1933 – 1937) stanice III. řádu, Klet' (1879 – 1938) a Pancíř (1879 – 1949) obě stanice II. řádu.

Stanice I. řádu na území Šumavy se nevyskytovala až do roku 1952, kdy byla zřízena MS Churáňov, ve které probíhá měření i v současné době (blíže o MS Churáňov v následující kapitole 6).

6 Meteorologická stanice Churáňov

MS Churáňov se nachází na území CHKO Šumava se souřadnicemi 49°04'06" severní šířky a 13°36'54" východní délky v nadmořské výšce 1 118 m.

Vznik MS je datován rokem 1952, kdy se stala součástí projektu jednotné profesionální pozorovací sítě na území Československé republiky. Jedním z důvodů zřízení MS bylo zajistit rovnoměrné rozmístění stanic po celé republice a reprezentativní umístění stanice vzhledem k lidské činnosti.

Na MS se provádí sledování vybraných klimatologických prvků jako jsou: teplota vzduchu, množství srážek, vlhkost vzduchu, sluneční záření, směr a rychlost větru.

Jedná se o jedinou profesionální synoptickou pozorovatelnu Českého hydrometeorologického ústavu (dále jen ČHMÚ) na území NP a CHKO Šumava.

Dle klasifikace EoI řadíme MS Churáňov mezi venkovskou a pozad'ovou stanici. Reprezentativnost lokality je v rámci oblastního měřítka 4 – 50 km (Fory, Hladík and Roubal 2009).

Jedním z hlavních cílů měření je stanovit celkovou hladinu pozadí imisních koncentrací a kvality ovzduší v oblasti NP a CHKO Šumava.

MS Churáňov je součástí mezinárodní spolupráce v oblasti životního prostředí v rámci mezinárodní sítě sledování kvality ovzduší EUROAIRNET. Tato síť byla založena v roce 1996, součástí sítě se staly již existující stanice v rámci celé Evropy. Jedním z hlavních cílů sítě je umožnit státům objektivní, spolehlivé a srovnatelné informace, které umožní přijmout opatření pro ochranu životního prostředí, vyhodnotit výsledky těchto opatření a zajistit informovanost veřejnosti.

MS Churáňov patří mezi deset českých observatoří zapojených do Evropské bolidové sítě. Síť v ČR doplňují observatoře Růžová, Svratouch, Lysá hora, Přimda, Veselí nad Moravou, Červená hora, Telč, Pec pod Sněžkou a Ondřejov.

Hlavním cílem sítě je fotografické monitorování noční oblohy a fotografování přeletů jasných meteorů (bolidů).

7 Měření kvality ovzduší

Měření kvality ovzduší ČHMÚ na MS Churáňov probíhá již od roku 1988, které začalo zjišťováním koncentrací oxidu siřičitého a síranových iontů. Měření bylo prováděno manuálními metodami až do roku 1994, kdy bylo nahrazeno automatickým měřením.

Od roku 1994 bylo sledování koncentrací u škodlivých látek rozšířeno o automatické měření koncentrací oxidů dusíku. V roce 1995 bylo měření rozšířeno o zjišťování koncentrací aerosolu frakce PM₁₀ a vzhledem k nadmořské výšce také o sledování přízemního ozonu. Bližší seznam znečišťujících látek měřených na MS Churáňov a jejich metody zjišťování s intervaly měření viz tab. č. 1.

Tab. č. 1 Přehled metod měření znečišťujících látek na MS Churáňov a jejich intervaly měření

Znečišťující látka	Metoda měření	Interval měření
O ₃	UV – absorpce	1 h
SO ₂	UV – fluorescence	10 min, 1 h
NO, NO ₂ , NO _x	chemiluminiscence	1h
PM ₁₀	gravimetrie	24 h odběr 2x za 3 dny
As, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb	hmotnostní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou	24 h odběr 2x za 3 dny

Zdroj: Fory, Hladík and Roubal (2009)

Bližší popis používaných metod při monitorování kvality venkovního ovzduší na MS Churáňov je uveden ve Fiala and Ostatnická eds. (2003).

8 Znečišťující látky

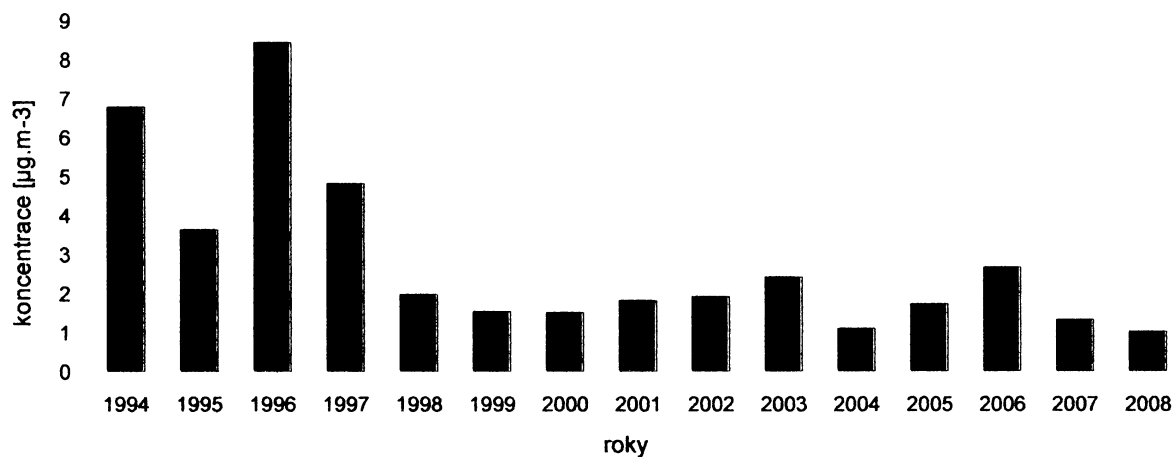
Pojmem znečišťující látka se rozumí taková příměs, která se do atmosféry dostala přirozenou cestou (např. vulkanická činnost, bakteriální činnost) nebo v důsledku lidské činnosti (např. spalování uhlí, automobilová doprava). Pro transport příměsí v atmosféře je rozhodující proudění ve vrstvě sahající do výšky 2 km nad zemským povrchem (mezní vrstva) (Bednář and Zikmunda 1985).

8.1 Imisní koncentrace As, Cd, Ni a Pb

Naměřená data u výše jmenovaných prvků nepřekročila ve sledovaném období 1994 – 2008 limitní úroveň pro ochranu zdraví. Hodnoty ani nedosahovaly dolní meze posouzení a byly o několik řádů nižší než je dolní mezí posouzení, maximální zjištěná roční koncentrace u As v

roce 2005 činila $0,5 \text{ ng.m}^{-3}$, Cd v roce 2005 $0,14 \text{ ng.m}^{-3}$, Ni v roce 2004 $0,52 \text{ ng.m}^{-3}$ a u Pb byla v roce 2004 $4,57 \text{ ng.m}^{-3}$.

8.2 Imisní koncentrace oxidu siřičitého (SO₂)

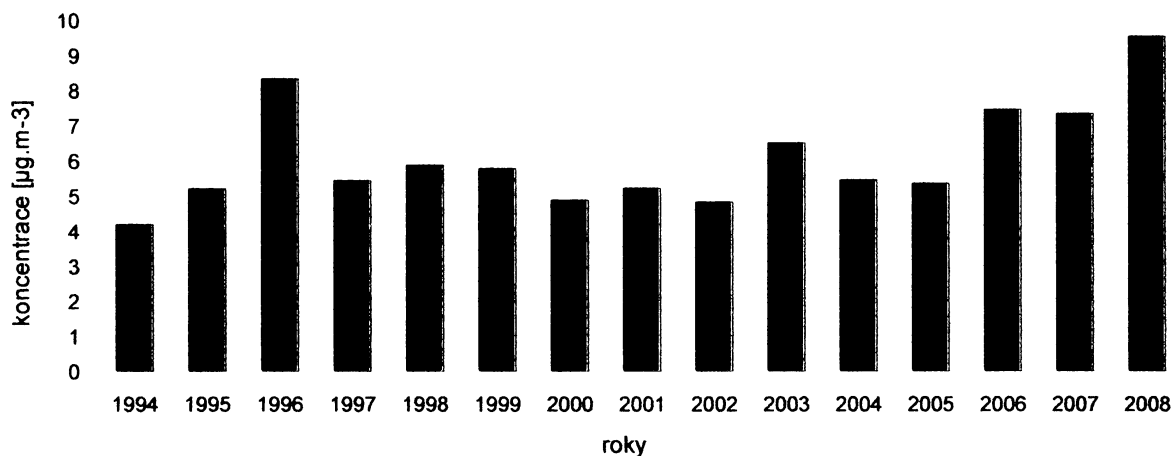


Obr. č. 1 Vývoj ročních imisních koncentrací SO₂ na MS Churáňov, 1994 – 2008
(graf zpracován na základě dat získaných ČHMÚ)

Z obr. č. 1 je patrný výrazný pokles imisních koncentrací SO₂ od počátku měření až do současné doby s menšími výkyvy, jedná se o 85 % pokles od roku 1994 do roku 2008. Prudký nárůst koncentrací v roce 1996 byl způsoben vlivem špatných povětrnostních podmínek (Roubal 2002), i přes to jsou naměřené roční koncentrace hluboko pod limitní hodnotou pro ochranu zdraví.

Pro zimní průměrnou koncentraci v roce 2007 byla zjištěna hodnota $1,1 \text{ µg.m}^{-3}$ (Blažek et al. 2008). Tato hodnota je hluboko pod limitní koncentrací pro ochranu vegetace a ekosystémů.

8.3 Imisní koncentrace oxidů dusíku (NO_x)

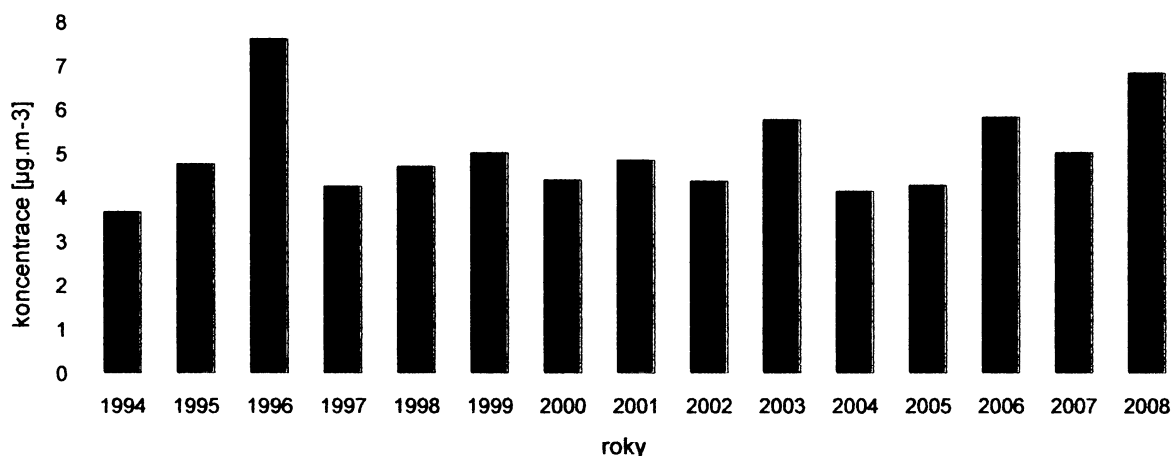


Obr. č. 2 Vývoj ročních imisních koncentrací NO_x na MS Churáňov, 1994 – 2008
(graf zpracován na základě dat získaných ČHMÚ)

Z obr. č. 2 je patrný vzrůst koncentrací NO_x od roku 2006, pokud srovnáme koncentrace v letech 2008 a 1994 jde o více než dvojnásobné (56 %) zvýšení koncentrací u této znečišťující látky. Maximum naměřené roční koncentrace bylo zjištěno v roce 2008, a to $9,52 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Zjištěné hodnoty jsou hluboko pod imisním limitem pro ochranu ekosystémů a vegetace, ale také pod dolní mezí posouzení.

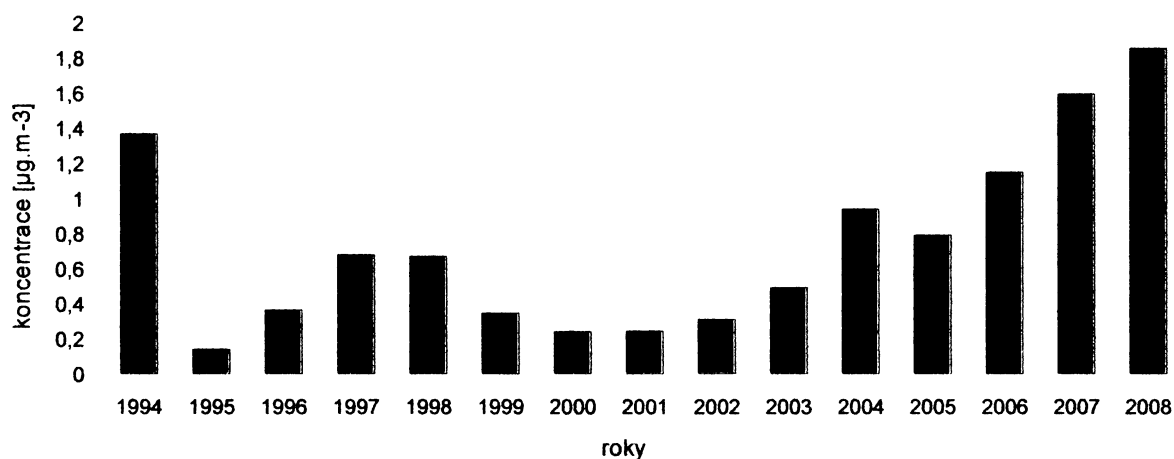
8.4 Imisní koncentrace oxidu dusičitého (NO_2)



Obr. č. 3 Vývoj ročních imisních koncentrací NO_2 na MS Churáňov, 1994 – 2008
(graf zpracován na základě dat získaných ČHMÚ)

Z obr. č. 3 je vidět rozkolísanost ročních imisních koncentrací u NO_2 během celé doby monitorování. Maximální hodnota ($7,61 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla zjištěna v roce 1996, kdy došlo prostřednictvím špatných rozptylových podmínek k nárůstu imisních koncentrací (Roubal 2002). Všechny naměřené hodnoty jsou hluboko pod imisním limitem pro ochranu zdraví a také pod dolní mezí posouzení.

8.5 Imisní koncentrace oxidu dusnatého (NO)

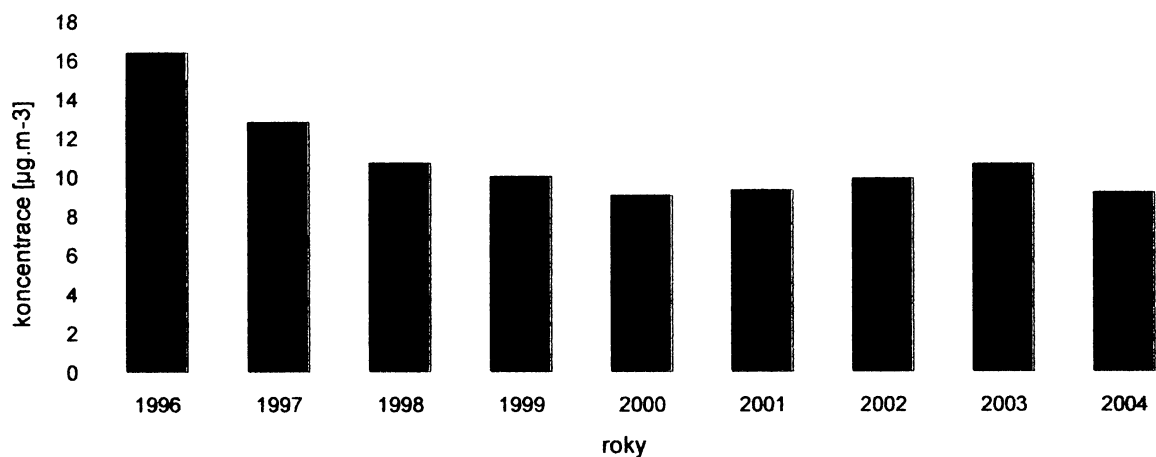


Obr. č. 4 Vývoj ročních imisních koncentrací NO na MS Churáňov, 1994 – 2008
(graf zpracován na základě dat získaných ČHMÚ)

Z obr. č. 4 je zřetelný pokles imisních koncentrací během let 1994 – 1995 o 89,8 %. Od roku 1995, kdy byla naměřena nejnižší hodnota oxidu dusnatého $0,14 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Od roku 1995 je patrná rozkolísanost koncentrací během sledovaného období. Od roku 2005 je patrný prudký nárůst koncentrací.

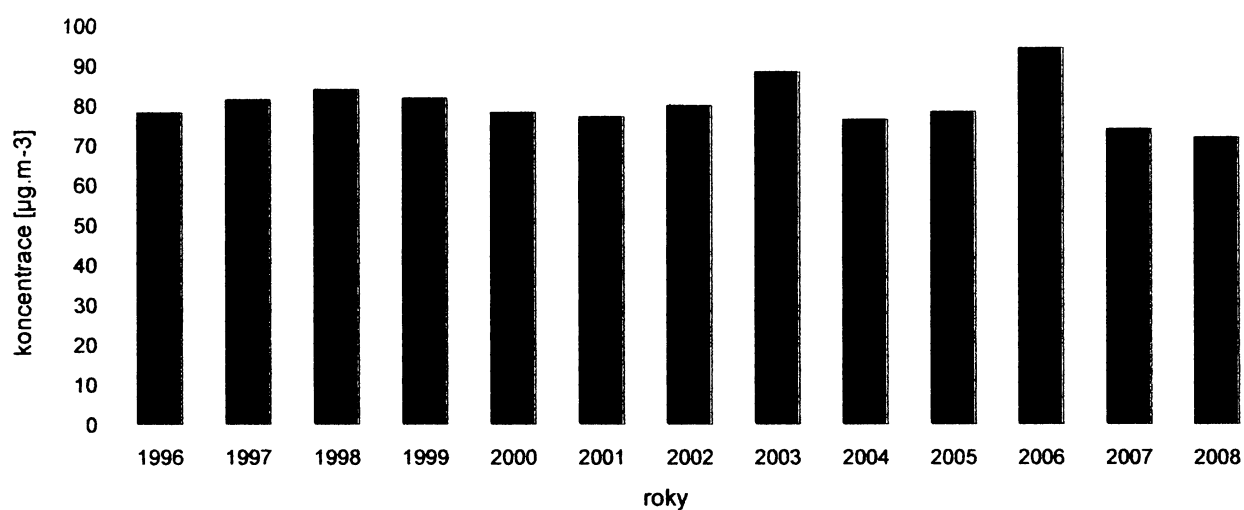
8.6 Imisní koncentrace aerosolu frakce PM_{10}

Z obr. č. 5 je vidět pokles imisních koncentrací aerosolu frakce PM_{10} o 44 % od roku 1996 do roku 2004. Opět zjištěné hodnoty jsou hluboko pod imisním limitem pro ochranu zdraví.



Obr. 5. Vývoj ročních imisních koncentrací PM₁₀ na MS Churáňov, 1996 – 2004
(graf zpracován na základě dat získaných ČHMÚ)

8.7 Imisní koncentrace přízemního ozonu



Obr. č. 6 Vývoj ročních imisních koncentrací přízemního ozonu na MS Churáňov, 1994 – 2008
(graf zpracován na základě dat získaných ČHMÚ)

Z obr. č. 6 jsou patrné vysoké roční hodnoty, průměrně činí roční hodnota koncentrace přízemního ozonu 80 µg.m⁻³. Tyto vysoké průměrné hodnoty jsou zapříčiněny vyšší nadmořskou výškou (1 118 m n. m.) naopak průměrné roční koncentrace naměřené v Plzni a Českých

Budějovicích (pod 400 m n. m.) za sledované období 1998 – 2005 činily $48 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Waldhauserová 2008).

V roce 2006 došlo k překročení cílového imisního limitu pro přízemní ozon (AOT40) na celém území NP a CHKO Šumava (MŽP 2008). Expoziční index AOT40 pro sledované období 2003 – 2007 došlo podle hodnocení pro rok 2007 na Šumavě k překročení limitního cílového imisního limitu pro ochranu vegetace, zjištěná průměrná hodnota za sledované období činí $26\,268,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$ tato hodnota byla druhá nejvyšší zjištěná na území ČR, pouze na stanici Štítná nad Vlčí v okrese Zlín byla naměřená vyšší hodnota, a to $27\,313 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$ (Blažek et al. 2008).

8.7.1 Vliv přízemního ozonu na vegetaci a ekosystémy

Působení přízemního (troposférického) ozonu se projevuje nežádoucími účinky na vegetaci. Negativní vliv ozonu je způsoben jeho vysokou oxidační schopností, kterou je narušena funkce buněčných membrán a zároveň dochází ke vzniku dalších toxických produktů (Ashmore 2003).

Ozon proniká do rostliny průduchy a již v mezibuněčných prostorech se v kontaktu s vlhkými buněčnými stěnami velmi rychle rozkádá, čímž způsobuje poškození buněčných membrán a narušuje tak metabolismus. Jedním z hlavních škodlivých efektů ozonu je inhibice fotosyntézy přímým snížením aktivity enzymů fixace oxidu uhličitého, při němž se rovněž snižuje i obsah chlorofylu (Uhlířová et al. 2003).

U rostlin způsobuje ozon poškození listů, jehličí, výsledkem je červenohnědé zbarvení a také narušení fyziologických procesů důležitých pro život. Vlivem přízemního ozonu jde o ovlivnění již zmíněné fotosyntézy dále ovlivňuje dýchání a syntézy aminokyselin i mastných kyselin, tak i metabolismus bílkovin, tuků a cukrů (Symon et al. 1988). Část fotosyntetické produkce, ale také rezerv se uvolňuje na odstraňování oxidačního stresu a tím dochází k snižování celkové odolnosti proti dalším nepříznivým faktorům (Jones et al. 2004).

Dalším negativním projevem přízemního ozonu na vegetaci je snížení celkové produkce a tím dochází rovněž k zastavování rozvoje kořenů a také ukládání zásobních látek (Lux et al. 1997).

Dlouhodobé působení ozonu může v ekosystémech dokonce způsobit potlačení a vymizení druhů citlivých k působení ozonu ve prospěch druhů odolnějších na vliv ozonu (Ashmore 2003).



9 Emisní zdroje ovlivňující Šumavu

Zdroje emitující do ovzduší znečišťující látky jsou celostátně sledovány v rámci tzv. Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (dále jen REZZO). Zdroje jsou členěny do jednotlivých kategorií podle míry svého vlivu na kvalitu ovzduší. Stacionární zdroje znečišťování ovzduší jsou vedeny v databázích REZZO 1–3, čtvrtá kategorie zahrnuje mobilní zdroje (REZZO 4).

Bližší členění viz tab. č. 2.

Tab. č. 2 Kategorizace zdrojů

Stacionární zdroje znečištění ovzduší	
REZZO 1	zvláště velké a velké zdroje, spalování s tepelným výkonem nad 5 MW, zvláště významné technologie
REZZO 2	střední zdroje, spalování s výkonem 0,2 - 5 MW a významné technologie
REZZO 3	malé zdroje, spalování s výkonem do 0,2 MW, lokální vytápění, méně významné technologie
Mobilní zdroje znečištění ovzduší	
REZZO 4	doprava

Zdroj: Hrubý and Machálek (2008)

Na území NP se nenachází žádný velký zdroj znečištění ovzduší řazený do kategorie REZZO 1, na území CHKO Šumava se nalézají tři zdroje zařazené do kategorie REZZO 1. Jedná se o Energetické služby města Volary s r.o., KOH-I-NOOR HARDMUTH a.s. v Horní Plané a KZ Mont spol. s r.o. v Horní Plané.

V těsné blízkosti NP a CHKO se vyskytuje několik velkých zdrojů znečištění. Jedná se o Městské služby Vimperk, OV Media s r.o. ve Vimperku, Tepelné hospodářství Prachatic s r.o., Jitona a.s. v Prachaticích, Rychločistírna Květiny v.o.s. v Prachaticích, Klima a.s. v Prachaticích, M – Technika s r.o. v Prachaticích, Prima Agri PT a.s. v Prachaticích, Centropol CZ a.s. v Loučovicích, Sapelli a.s. ve Vyšším Brodě, Solo sirkárna a.s. v Sušici, Bytservis Sušice spol. s r.o., DOPLA PAP a.s. v Sušici, Macháček MABET s r.o. v Sušici, Silnice Klatovy a.s. v Dobrušíně a Výrobní obchodní družstvo Svatobor v Hrádku u Sušice.

10 Atmosférická depozice

Atmosférická depozice je přenos či tok látek z atmosféry k zemskému povrchu vyjádřený jako hmotnost sledované látky na jednotku plochy za určitou časovou jednotku (zpravidla se používá jednotek $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ nebo $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$). Jedná se o velice důležitý proces samočištění atmosféry, který umožňuje látkám v ovzduší přecházet do jiných složek prostředí (hydrosféry, pedosféry, litosféry, kryosféry, biosféry). Pro ně ovšem může představovat významný vstup znečišťujících látek a je tedy naopak zdrojem znečištění. Bez působení tohoto důležitého procesu by docházelo ke kumulaci látek v atmosféře (Hůnová and Janoušková 2004).

Celková atmosférická depozice je složena z depozice mokré a suché.

10.1 Mokrú atmosférickú depozice

Mokrú atmosférickú depozice je spojená s atmosférickými srážkami. U mokré depozice rozlišujeme dvě složky: vertikální (děšť, sníh, kroupy) a horizontální (mlha, námraza, jínovatka).

10.1.1 Vertikální atmosférickú depozice

Mokrú vertikální depozice je výsledkem mokrého odnimaní rozpuštěných i nerozpuštěných látek, aerosolových částic z atmosféry, a to jak vymývání uvnitř oblaku (rainout) tak i pod oblačnou vrstvou (washout).

Lze ji snadno měřit dle vzorce (1) a patří mezi nejlépe poznané složky atmosférické depozice (Hůnová and Janoušková 2004).

$$D = c \cdot P \quad (1)$$

kde:

c ... je průměrná koncentrace měřené složky (průměr vážený srážkovým úhrnem) [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$],

P ... je srážkový úhrn za vyčíslované časové období (zpravidla rok) [mm].

Ze vzorce (1) vyplývá, že můžeme naměřit vysoké hodnoty vertikální atmosférické depozice v relativně čistých oblastech, protože znečišťující látky jsou vymývány z atmosféry, a to zejména pokud jsou vysoké srážkové úhrny.

Vzorek vertikálních srážek je možné odebírat třemi způsoby. Nejčastěji se používají odběry typu „wet-only“, kdy je odběrové zařízení (automatický pluviokolektor) exponováno pouze po dobu srážkové epizody a umožňuje odebírat pouze tzv. čisté srážky, tedy bez suchého spadu. Další metoda „bulk“ je odběrové zařízení exponováno stále a odebraný vzorek tedy

představuje vertikální srážky spolu s nedefinovanou částí suché depozice. Třetím typem odběru je metoda „throughfall“, která je považována za nejlepší možný odhad celkové atmosférické depozice. Odběrové nádoby jsou exponovány pod lesním porostem nepřetržitě zpravidla po dobu jednoho měsíce (Hůnová and Janoušková 2004).

10.1.2 Horizontální atmosférická depozice

Horizontální depozice může v některých oblastech podílet hydrologicky na celkové atmosférické depozici, udává se hranice s nadmořskou výškou 800 m a výše. Např. hodnota celkové roční depozice z větrem hnané nízké oblačnosti a mlhy na vegetační porost byla odhadnuta na 10 % celkového ročního úhrnu vertikálních srážek pro oblast Šumavy (Tesař 2008), na území Krkonoš je podíl vyšší, a to 15 %, na území Jizerských hor 10 % (Tesař, Fišák, Šír and Fottová 2004a; Tesař, Fottová, Eliáš and Šír 2000). Jedním z hlavních činitelů vstupu vody na lesní porosty je vysoká rychlost větru a dlouhotrvající intenzivní mlhy (blíže viz kapitola 11 Typy mlhy na Šumavě).

Kromě významného podílu vody v horizontálních srážkách, spočívá jejich význam i v tom, že jsou mnohem více mineralizované než srážky vertikální, protože obsah vody v kapičkách mlhy je výrazně nižší než v dešťových kapkách (Hůnová and Janoušková 2004).

Velmi důležitý je ekologický význam usazených srážek, a to díky jejich až řádově vyšším obsahům znečišťujících látek ve srovnání s padajícími srážkami. Množství usazených srážek je velmi proměnlivé a přesně nekvantifikovatelné (Tesař 2008; Tesař, Šír and Fottová 2004b).

Odběry horizontální depozice se provádí buď aktivními (aktivní nasávání vzduchu čerpadlem) či pasivními odběrovými zařízeními. Pasivní odběrové zařízení je opatřeno strunami, na které se zachytávají mlžné kapičky a stékají do kolektorové nádoby (Hůnová and Janoušková 2004).

10.2 Suchá atmosférická depozice

Neexistuje jednoduchá metoda umožňující přímé měření suché depozice plynů a aerosolových částic, používá se k výpočtu suché depozice metoda, která odvozuje depoziční tok z naměřených imisních koncentrací těchto složek v ovzduší a jejich depozičních rychlostí dle vzorce (2) (Zapletal 1997).

$$F = v_d(z) \cdot c_a(z) \quad (2)$$

kde:

F ... je depoziční tok látky,

$v_d(z)$... je depoziční rychlost látky [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$],

$c_a(z)$... je koncentrace látky ve výšce z nad povrchem [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$].

Procesů, které vedou k suché depoziaci, je celá řada. U částic se uplatňuje zejména gravitační sedimentace, plyny jsou vázány na povrchy v důsledku adsorpčních dějů, případně se dostávají do rostlinných organismů absorbcí, rozpouštějí se v oceánech. Faktory, které ovlivňují suchou depoziaci plynů a částic jsou zejména atmosférická turbulence, chemické vlastnosti deponovaných látek a podstata povrchu, na který jsou látky deponovány (Hůnová and Janoušková 2004).

Depoziční rychlost v_d je vyjádřena jako inverzní hodnota součtu tří rezistencí, kterou reprezentují tři fáze přenosu, viz vzorec (3) (Zapletal and Skořepová 2001).

$$v_d(z) = \frac{1}{R_a(z) + R_b + R_c} \quad (3)$$

kde:

R_a ... aerodynamická rezistence, reprezentuje přenos skrz volnou atmosféru (turbulentní vrstvu) k laminární mezní vrstvě.

R_b ... laminární rezistence, reprezentuje přenos přes laminární mezní vrstvu k povrchu.

R_c ... rezistence povrchu nebo pokryvu, reprezentuje různý způsob příjmu plynu nebo částic povrchem.

Příklady hodnot depozičních rychlostí pro vybrané plyny a aerosolové částice viz tab. č. 3

Tab. č. 3 Depoziční rychlosti vybraných plynů a aerosolových částic v $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$

Polutant	Lesní oblasti	Nezalesněné oblasti
SO_2	0,70	0,35
NO_x	0,40	0,10
SO_4^{2-} - aerosol	0,25	0,08
Pb	0,25	0,08
Cd	0,30	0,10

Zdroj: Dvořáková et al. (2000)

10.3 Metody zjišťování atmosférické depozice

Úroveň atmosférického depozitu se nejčastěji zjišťuje technickými a instrumentálními prostředky na měřicích stanicích. Průměrné dlouhodobé depoziční zátěže lze také dostatečně přesně odhadnout pomocí sledování vhodných bioindikátorů, jejichž reakce na proměnné depoziční úrovně prvků je dostatečně rychlá, specifická a těsně koreluje s mírou jejich spadu (Sucharová and Suchara 2002). Mezi nejznámější bioindikátory kvality ovzduší patří epifytické lišejníky velmi citlivé ke znečištění ovzduší nebo houby, které naopak ve větší míře hromadí i toxické prvky v plodnicích (blíže o biomonitoringu viz kapitola 12).

Hlavní složkou ekosystému, která určuje odolnost vůči antropogennímu okyselování, jsou půdy, a proto se používají modely zahrnující zejména procesy okyselování půd a vod. Jedním z používaných modelů je model MAGIC (Model of Acidification of Groundwater in Catchments). Vstupní parametry pro model jsou použity současné vlastnosti půd ve zkoumaném povodí (velikost sorpčního půdního komplexu, jeho nasycenost bazickými kationty – Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ ; množství a struktura půd, adsorpce síranů, disociační konstanty organických kyselin, rychlost zvětrávání matečné horniny a další experimentálně dosažitelné veličiny). Hlavní veličinou modelu jsou údaje o časových proměnách atmosférické depozice. Další důležitou hodnotou je příjem bazických kationtů stromy a fixace v organické hmotě. V pěstovaných rychle rostoucích dřevinách (smrkový les) se těžbou a odvozem dřeva z lesa porušuje přirozený koloběh prvků (bazické kationty fixované ve dřevě se nemohou po odumření stromu vrátit zpět do půdy tak, jak tomu bylo v původních pralesích. V intenzivně těženém lese výrazně klesá přirozená neutralizační kapacita celého ekosystému (Hruška, Krám and Moldan 1996).

Další možnou metodou k určení dlouhodobě ukládaných zátěží atmosférické depozice je chemická analýza lesního nadložního humusu. V práci Suchara and Sucharová (2004a), která byla zaměřena na určení dlouhodobě hromaděných depozičních zátěží krajiny ČR u 14 prvků (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, S, V a Zr). Pro analýzu byla vybrána organická hmota nejspodnějšího II subhorizontu z horizontu nadložního humusu (mor, morder) jehličnatých lesů. Na území Šumavy byly naměřeny jedny z nejnižších hodnot z ČR u Cd, Co, Cr, Mo a V.

10.4 Kyselá atmosférická depozice

V práci Hruška (1999), ve které bylo zkoumáno podíl atmosférické depozice a její vliv na horská rašeliniště, se zabývá přirozeně kyselými rašeliništi na území ČR (Slavkovský les, Krušné hory, Jizerské hory, Šumava a Třeboňská pánev). Přirozená kyselost je dána anionty huminových kyselin a fulvokyselin, které se podílely 70 % na celkové aciditě a 10 % síranových

aniontů, poměr je odhadnut před vznikem průmyslu a tedy vlivem antropogenní činnosti.

Předpokladem pro určení vlivu lidské činnosti na přirozenou kyselost rašelinišť byla dána změnou poměru (snížením) přirozené acidity a zvýšení kyselosti antropogenního původu síranů.

Na šumavských rašeliništích, nejrozsáhlejší česká rašeliniště, kde vzorky byly odebrány na Rokytské, Blatenské, Tříjezemí a Chalupské slati, byly naměřeny jedny z nejnižších koncentrací síranů v sledované oblasti. V Blatenské slati byl zjištěn nejvyšší podíl aniontů přirozených kyselin na celkové koncentraci aniontů, a to 59 % (průměr pro celou Šumavu je 48 %). Nízké hodnoty síranů ukazují na relativně malý dopad lidské činnosti na kyselost šumavských rašelinišť. Nižší koncentrace síranů v povrchových vodách je dán geologickým podložím. Např. půdy vyvinuté na pararulách Modravska mají vysokou schopnost vázat sírany na jílových částicích a povrchové vody jsou tedy chráněny před vstupem síranů.

Naopak nejnižší podíl organických kyselin (15 %) a celých 80 % aniontů včetně dusičnanů pochází z antropogenní činnosti byl zjištěn v Jizerských horách.

Vedle přímé atmosférické kontaminace trpí horské oblasti ČR především změnami acidobazických podmínek, tj. snížením hodnot pH půd a cirkulujících vod. Na Šumavě je v tomto ohledu problematická především oblast Trístoličníku, okolí Plešného jezera a území ležící severně od nich až k Teplé Vltavě. Druhou oblastí náchylnou k acidifikaci je horní část povodí Prášílského potoka, okolí Polomu a Poledníku, kde byly pozorovány zvláště nízké obsahy bazických kationtů a kde v minulosti byly pozorovány i silně kyselé vody. Naopak relativně vyšší obsahy bazických kationtů a oxidu křemičitého ve vodách SV od Strážného naznačují vyšší intenzitu zvětrávání a tím i vyšší odolnost proti acidifikaci (Majer and Veselý 2005).

V práci Majer and Veselý (2005), v které proběhlo stanovení složení povrchových vod na území NP Šumava v letech 2003 – 2004. Zjištěné výsledky byly porovnány s daty měření z let 1984 – 1990 s následujícími výsledky: došlo k výraznému poklesu emisí síry v povrchových vodách NP Šumava, který se projevil poklesem koncentrací síranů jen ve vrcholových partiích s jezery a v tocích modravských slatí, tedy ve vodách nejvíce závislých na složení srážkových vod. V regionálním měřítku zůstaly koncentrace síranů na Šumavě v období 1984 – 2004 bez výraznějších změn. Naopak koncentrace dusičnanů a chloridů v důsledku reorganizace průmyslu a poklesu počtu dobytka v zemědělství poklesly. K výraznému poklesu koncentrací u olova došlo na celém území NP Šumava, protože naměřené vyšší koncentrace olova v letech 1984 – 1990 byly zjištěny podél tras hlavních silnic vedoucích k Železné Rudě, Kašperským Horám, Lenoře a na Volary. Pokles je zřejmě zapříčiněn tím, že během měření bylo olovo součástí pohonných

hmot. V současné době je pozorována vyšší koncentrace sodíku a chloridů v okolních tocích podél hlavních silničních tras k Železné Rudě a na Strážný vedoucích k státním hranicím se SRN.

Negativní vliv atmosférické depozice lze také pozorovat na zdrojích podzemních vod (Hrkal 2004).

10.5 Usazené (horizontální) srážky

Na území Šumavy probíhá studium usazených srážek již od roku 1988 na MS Churáňov a poté od roku 1993 na lokalitě Liz v blízkosti obce Zdikov v nadmořské výšce 828 – 1 074 m s rozlohou povodí 0,99 km². V obou zkoumaných oblastech jsou instalovány aktivní odběrové přístroje pro odnímání horizontální depozice. Pasivní odběrové přístroje jsou umístěny na lokalitách Malé Mokrůvky, na vrcholu Poledníku, Polomu a Churáňova.

Výzkumné povodí Liz (dle kategorie Eio se jedná o pozad'ovou stanici) je zařazené do sítě GEOMON, který se zabývá výměnou látek v malých lesních povodích. Vzorke jsou odebírány Českou geologickou společností (ČGS) pomocí metody bulk a podkorunové srážky pod smrkem a bukem.

Dalšími místy na Šumavě, které se zabývají měřením usazených srážek jsou pozad'ové stanice u Plešného jezera, kde měření je zajišťováno Hydrobiologickým ústavem AV ČR (HIBÚ AV ČR). Jedno odběrové místo je umístěno v 1 330 m n. m., vzorky jsou odebírány podkorunovými srážkami v smrkovém lese (smrkový les byl v roce 2004 napaden a téměř zničen kurovcem). další odběrné místo je lokalizováno ve 150 let starém smrkovém lese a poslední odběrné místo s metodou bulk je exponováno v nadmořské výšce 1 090 m v kamenném moři s kosodřevinami. odběrové zařízení se nachází ve třech metrech nad povrchem.

Odběrová zařízení HIBÚ AV ČR v blízkosti Národní přírodní rezervace (NPR) Čertovo jezero jsou vybavena pro odběr usazených srážek metodou bulk a podkorunovými srážkami v smrkovém lese.

Tab. č. 4 Chemismus mlžné a oblačné vody ve srovnání s chemismem vertikálních (bulk) srážek pro oblast Šumavy (stanice Churáňov a Liz pro hydrologické roky 1994 – 2003)

iont	jednotky	Chemismus mlžné vody Churáňov			Chemismus srážek (bulk) Liz			Faktor obohacení 1)/2)
		minimum	maximum	medián 1)	minimum	maximum	vážený průměr 2)	
pH	(-)	3,30	7,10	4,20	3,60	6,90	4,80	1,10
H⁺	($\mu\text{g} \cdot \Gamma^{-1}$)	0,08	457,09	67,63	0,12	251,19	28,57	2,40
Cond.	($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	3,48	687,00	131,00	1,00	209,00	21,83	6,00
Na⁺	($\text{mg} \cdot \Gamma^{-1}$)	0,01	19,27	0,40	0,01	1,36	0,15	2,60
K⁺	($\text{mg} \cdot \Gamma^{-1}$)	0,00	17,69	0,53	0,01	4,31	0,19	2,80
NH₄⁺	($\text{mg} \cdot \Gamma^{-1}$)	0,00	42,30	7,78	0,01	11,07	0,63	12,30
Mg²⁺	($\text{mg} \cdot \Gamma^{-1}$)	0,00	4,20	0,18	0,01	1,14	0,06	3,20
Ca²⁺	($\text{mg} \cdot \Gamma^{-1}$)	0,01	22,21	1,00	0,01	9,80	0,32	3,10
F⁻	($\text{mg} \cdot \Gamma^{-1}$)	0,00	0,45	0,05	0,01	0,20	0,02	3,00
Cl⁻	($\text{mg} \cdot \Gamma^{-1}$)	0,00	13,28	1,06	0,05	2,84	0,33	3,20
NO₃⁻	($\text{mg} \cdot \Gamma^{-1}$)	0,32	178,77	17,36	0,13	26,10	2,14	8,10
SO₄²⁻	($\text{mg} \cdot \Gamma^{-1}$)	0,31	77,60	16,11	0,25	27,73	2,03	8,00
Mn	($\mu\text{g} \cdot \Gamma^{-1}$)	0,20	530,00	22,00	2,00	103,00	7,66	2,90
Zn	($\mu\text{g} \cdot \Gamma^{-1}$)	10,00	814,00	98,00	5,00	115,00	20,97	4,70
Fe	($\mu\text{g} \cdot \Gamma^{-1}$)	50,00	900,00	90,00	0,00	260,00	24,59	3,70
Al	($\mu\text{g} \cdot \Gamma^{-1}$)	10,00	1 220,00	100,00	5,00	210,00	33,17	3,00
As	($\mu\text{g} \cdot \Gamma^{-1}$)	0,50	13,80	1,70	0,25	7,70	0,44	3,90
Cd	($\mu\text{g} \cdot \Gamma^{-1}$)	0,04	33,20	0,56	0,02	12,80	0,21	2,60
Pb	($\mu\text{g} \cdot \Gamma^{-1}$)	0,50	525,00	12,30	0,20	19,50	1,56	7,90
Cu	($\mu\text{g} \cdot \Gamma^{-1}$)	0,20	91,00	6,45	0,10	2 382,00	46,99	0,10

Zdroj: Tesař, Šír and Fottová (2004)

Z tab. 4 je patrné, že koncentrace sledovaných složek jsou vyšší, a to až řádově u některých prvků, ve vzorcích vody odebraných z mlžné a oblačné vody oproti koncentracím ve vodě srážkové.

Faktor obohacení (navýšení), který je dán poměrem koncentrace látek v usazených srážkách ke koncentracím naměřených ve srážkách vertikálních. Z tab. č. 4 vyplývá, že faktor obohacení je nejvyšší u amoniakálních (12,3 x), dusičnanových (8,1 x) a síranových (8 x) iontů. U olova je faktor obohacení rovněž vysoký, a to až osminásobně u vzorků odebraných z mlh k dešťové vodě.

Tab. č. 5 Roční látková a vodní depozice formou usazených a vertikálních srážek v oblasti Šumava pro hydrologické období 1994 – 2007

	Roční depozice formou mlhy [kg.km ² .rok ⁻¹]	Roční depozice formou srážek [kg.km ² .rok ⁻¹]	Podíl mlžné depozice [%]
H⁺	5,93	18,21	33
Na⁺	39,47	125,57	31
K⁺	43,95	161,44	27
NH₄⁺	694,28	529,17	131
Mg²⁺	14,35	44,85	32
Ca²⁺	78,94	278,04	28
F⁻	4,49	17,94	25
Cl⁻	94,19	278,04	34
NO₃⁻	1 480,05	1 865,55	79
SO₄²⁻	1 345,50	1 632,36	82
Mn	1,79	7,18	25
Zn	8,70	25,58	34
Fe	7,18	20,28	35
Al	8,97	27,19	33
As	0,15	0,36	42
Cd	0,05	0,13	38
Pb	1,06	1,35	79
voda [mm]	89,70	896,90	10

Zdroj: Tesař (2008)

Tab. č. 5 přináší údaje o množství sledovaných látek deponovaných za rok na jednotku plochy formou usazených a vertikálních srážek.

Látkový přenos mlhou je významný a srovnatelný se srážkami padajícími (v případě dusičnanů a síranů), ale i převyšuje význam srážek vertikálních, a to v případě amoniakálních iontů.

Z tab. č. 4 a 5 je patrný nezanedbatelný význam usazených srážek z hlediska ekologického i přes jeho relativně malý přínos vodohospodářský (pro oblast Šumavy se podílí celková roční depozice z větrem hnané nízké oblačnosti a mlhy 10 % celkovému ročnímu úhrnu vertikálních srážek).

11 Typy mlh na Šumavě

Odborně můžeme mlhu definovat jako atmosférický aerosol sestávající z velmi malých vodních kapiček, který snižuje vodorovnou viditelnost pod 1 km. Obsah vodních kapének ve vzduchu při mlze je proměnlivý a může dosáhnout až desetin gramů na jeden metr krychlový vzduchu (Sobíšek et al. 1993).

Mlhy můžeme rozlišovat dle dohlednosti do čtyř stupňů intenzity (Strnad 2003):

intenzita slabá -- dohlednost 500 -- 1 000 m, označení 0

intenzita mírná -- dohlednost 200 – 500 m, označení 1

intenzita silná -- dohlednost 50 – 200 m, označení 2

intenzita velmi silná -- dohlednost méně než 50 m, označení 3

Podle způsobu jakým bylo dosaženo nasycení vzduchu vodními parami v přízemní vrstvě lze mlhy rozdělit v okolí MS Churáňov podle Strnada (1988) na čtyři základní skupiny: mlhy místní, advekční, frontální a radiační.

11.1 Mlhy místní

Podmínkou pro vznik tohoto typu mlhy jsou rozsáhlé vodní plochy (jezera, moře...) a proto se neřadí mezi častý typ mlh vyskytující se v okolí MS Churáňova. Malé procento můžeme nalézt nad rašeliništi s malými jezírky, nad nimiž vlhkost vzduchu bývá blízká vlhkosti nasycení.

Do místních mlh se řadí také údolní a městské mlhy v okolí velkých měst a v průmyslových oblastí, ale žádné z posledních jmenovaných se v horské oblasti Šumava neobjevují.

11.2 Mlhy advekční

Vznikají prouděním teplého a vlhkého vzduchu, převážně mořského původu nad vychlazený zemský povrch, jehož teplota je nižší než teplota rosného bodu teplého vzduchu. Tento typ mlh je charakteristický pro chladnou polovinu roku, tj. v zimě a na jaře, dalším znakem je jejich rozsáhlost jak plošná, tak vertikální (až několik stovek metrů). Tvoří se v libovolné denní době a v noci bývají zesíleny radiací.

Častým průvodním jevem advekčních mlh je mrholení. Rozpouštění je závislé na intenzitě slunečního záření, v zimě je rozpouštění pomalé a málo účinné, naopak v jarních a letních měsících vzrůstá rychlost rozpouštění s intenzitou slunečního záření.

11.3 Mlhy frontální

Pro vznik frontálních mlh je důležitá zvýšená vlhkost v oblasti vypadávajících frontálních srážek. Pro horskou oblast Šumavy je častý vznik zapříčiněn snížením frontální oblačnosti k zemskému povrchu.

Na návětrných svazích vzniká tento typ mlh adiabatickým ochlazováním vzduchu při přechodu fronty přes svah. Pro vznik mlhy se může uplatnit také turbulentní promíchávání v přízemní vrstvě atmosféry, jejíž vlhkost je ještě zvyšována vypadávajícími srážkami.

11.4 Mlhy radiační

Vznikají převážně za jasného počasí a velmi slabého proudění přízemního větru do 3 m.s^{-1} . Výše zmíněné podmínky jsou splněny zejména v anticyklonálních situacích. Další podmínkou pro vznik radiační mlhy je, aby došlo k ochlazení přilehlé vrstvy vzduchu na teplotu rosného bodu a dostatečná přítomnost kondenzačních jader. Neméně důležitá podmínka je dostatečná vlhkost přízemní vrstvy vzduchu a zemského povrchu.

Mlhy můžeme nalézt v níže položených oblastech, a to především v údolích, kde dochází k stékání ochlazeného vzduchu, a tím i rychlejšímu nasycení okolních mas vzduchu. Nejčastěji můžeme tento typ mlhy pozorovat brzy ráno, protože jsou nejlépe splněny podmínky pro vznik. Rozpad mlh je v teplé polovině roku poměrně rychlý, ale naopak v zimě lze pozorovat rozpad až do odpoledních hodin.

Na horských svazích Šumavy dochází v odpoledních hodinách a za jasného počasí k ohřátí vzduchových vrstev, které způsobí proudění vzduchu vzhůru po svazích vlivem změny jeho hustoty. Vzniklý tzv. údolní vítr (anabatický), který vynáší mlhy z údolí na vrcholové partie. Tento jev má negativní vliv na lidské zdraví i na ekosystémy, protože přináší zhuštěné imisní znečištění z údolí do horských oblastí. Pro vznik údolních větrů je důležité slabé proudění vzduchu, záleží také na roční době a intenzitě slunečního záření.

Pro oblast Šumavy bylo provedeno statistické vyhodnocení četnosti výskytu a trvání mlhy ve formě klimatologických standartů za období 1961 – 1990 zjištěných na MS Churáňov s následujícími výsledky: průměrný výskyt mlhy je 147 dnu za rok, nejčastěji se vyskytuje v prosinci (14,6 dne), naopak nejnižší počet dnu s mlhou je v červenci, a to 7,4 dne. Průměrná doba trvání mlhy je 1 245 hodin za rok. Nejdéle trvá mlha v listopadu (151 hodin) a nejkratší výskyt mlhy je opět v červenci (49 hodin) (Tesař 2008).

12 Biomonitoring

Biomonitoring využívá vhodné biologické objekty (biomonitory, bioindikátory) k monitorování časových změn kvality prostředí. Senzitivní bioindikátory jsou velmi citlivé na změnu kvality prostředí a na znečištění reagují nekrotickými projevy až odumřením. Kumulativní bioindikátory naopak dovedou hromadit až superakumulovat látku z prostředí bez viditelných příznaků poškození (Sucharová and Suchar 1998).

Jedním z významných programů sledování dopadů znečištění ovzduší je Program sledující dopady znečištění ovzduší na přirozenou vegetaci a plodiny, běžně označovaný zkráceně ICP – Vegetation. Aktivita ICP – Vegetation jsou zaměřeny především na biomonitorování přítomnosti a koncentrace hlavních látek znečišťujících atmosféru v městské i venkovské krajině, vyhledávání vhodných taxonů rostlin k bioindikaci znečištění ovzduší se zaměřením na zjišťování poškození a pokles výnosů citlivých plodin v jednotlivých zemích (Suchara and Sucharová 2004b).

Některé druhy hub (makromycetů) mají schopnost koncentrovat ve svých plodnicích stopové prvky. Tento fenomén je znám již desítky let a je v povědomí veřejnosti zejména pro schopnost hub akumulovat z prostředí některé těžké kovy nebo radionuklidy. Prvky se v plodnicích mohou hromadit dvojím způsobem: transportem přes mycelium nebo atmosférickou depozicí, která však má význam pouze u druhu tvořících trvanlivější plodnice, především u chorošovitých hub. Míru akumulace prvku houbou vyjadřujeme bioakumulačním faktorem (poměrem obsahu prvku v sušině plodnice a v sušině půdního substrátu). Pokud je obsah prvku v plodnici vyšší než v půdě, houba má schopnost prvek akumulovat, pokud je nižší, jde o diskriminaci prvku. V případě, kdy je u některého druhu houby bioakumulační faktor výrazně vyšší (asi 100 krát) než u většiny ostatních druhů hub, hovoříme o schopnosti hyperakumulace (Borovička 2007).

Nejvyšší obsahy prvku nalzáme v houbách rostoucích na zemi (terestrických), což je dáno blízkým či přímým kontaktem podhoubí s minerálním substrátem. Houby rostoucí na dřevě mají obsahy prvku nízké, protože dřevo tvoří mezi houbou a geologickým prostředím bariéru, některé choroše však mají díky sorpčním vlastnostem povrchu plodnice schopnost zachycovat prvky z atmosférické depozice (Borovička 2007).

Těžké kovy se váží na buněčný povrch houbových vláken, ze kterých je tvořeno podhoubí i plodnice. Část kovu je přitom transportována do buněk, kde ve vyšší koncentraci působí toxicky. Tato vlastnost byla studována především z hlediska průmyslového využití levných houbových preparátů při odstranění nežádoucích kovů z odpadních vod a při získávání

vzácných resp. strategických kovů např. stříbra nebo uranu z roztoku. Vazba kovu na buněčný povrch je přitom reverzibilní a kovy se mohou navzájem zaměňovat podobně jako na syntetických iontoměničích. Druhá a neméně důležitá možnost, jak využít schopnosti hub akumulovat kovy, spočívá v jejich zapojení do systému biomonitoringu životního prostředí (Gabriel and Badrian 1995).

Pro sledování těžkých kovů u dřevokazných hub byly vybrány dvě oblasti s odlišným imisním zatížením, a to NP a CHKO Šumava a hl. m. Praha. Dřevokazné houby byly vybrány, protože jsou tolerantní k vyšší koncentraci těžkých kovů. Vzhledem k přítomnosti bariér mezi půdou a kořeny dřevin a mezi dřevinou a plodnicí houby je obsah těžkých kovů v plodnici poměrně přesným měřítkem jejich koncentrace v atmosféře a poskytuje spolehlivé informace o zatížení určitého stanoviště.

V práci Badrian, Gabriel, Rychlovský and Krenželok (1996) byl sběr plodnic proveden celkem na 32 lokalitách v Praze (celkem 93 měřených vzorků) a na 14 lokalitách na území NP a CHKO Šumava (celkem 39 vzorků).

Z tab. č. 6 je patrný rozdíl koncentrací těžkých kovů v obou sledovaných oblastech. U vzorků z CHKO a NP Šumava je nižší obsah těžkých kovů přenášených emisemi, a to je zapříčiněno nepřítomností velkoplošných zdrojů znečištění a podstatně nižší hustotou automobilové dopravy. Největší naměřené rozdíly byly zjištěny u hliníku, kde zjištěné hodnoty u vzorků ze Šumavy činily 21,2 % hodnot zjištěných v Praze. Další významný rozdíl byl zjištěn u olova, a to dokonce 15,4 %.

Maximální naměřené hodnoty u těžkých kovů na Šumavě byly zjištěny v lokalitách ovlivněných činností člověka (blízkost silnic nebo lidských sídel) a byla zde obvykle zvýšena pouze koncentrace některých sledovaných kovů (Badrian, Gabriel, Rychlovský and Krenželok 1996).

Tab. č. 6 Porovnání obsahu těžkých kovů v houbách na území NP Šumava a Prahy

Kov	Počet vzorků	NP Šumava průměr ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Maximum ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Počet vzorků	Praha průměr ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Maximum ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
Al	39	89,2 + - 10,0	246,7	93	420,7 + - 66,6	4 086,6
Cd	39	0,77 + - 2,2	3,1	93	1,36 + - 0,17	9,3
Cu	39	13,6 + - 2,2	56,0	93	18,7 + - 2,2	158,4
Pb	39	0,76 + - 0,16	5,4	93	4,94 + - 0,50	35,2
Zn	39	68,17 + - 5,7	160,0	93	50,96 + - 2,88	160,0

Zdroj: Badrian, Gabriel, Rychlovský and Krenželok (1996)

Další bioindikátory používané pro určování míry znečištění ovzduší na území NP a CHKO Šumava jsou epifytické lišejníky (Dětinský 1996; Nekovář, Otáhal and Stanzelová 1993) a mechorošty (Sucharová and Suchara 1998).

Lišejníky a mechorošty se využívají pro identifikaci vzdušného znečištění, protože mají schopnost absorbovat výživu téměř výhradně z atmosférického depozitu.

Dětinský (1996) pro posouzení kvality ovzduší použil epifytické lišejníky rostoucí na samostatně stojících nebo v malých skupinách se vyskytujících stromů javor klen (*Acer pseudoplatanus*) a jeřáb obecný (*Sorbus aucuparia*). Získané údaje byly vyhodnoceny metodikou IAP. Každé lokalitě byla přiřazena konkrétní hodnota indexu IAP (Index of Atmospheric Purity), která příslušnou lokalitu charakterizuje s použitím semikvantitativních metod jako celek.

Na základě indexu IAP bylo zkoumané území rozděleno do tří zón dle stupně znečištění ovzduší (viz obr. č. 7)

I – Zóna nejsilněji zasažená znečištěním.

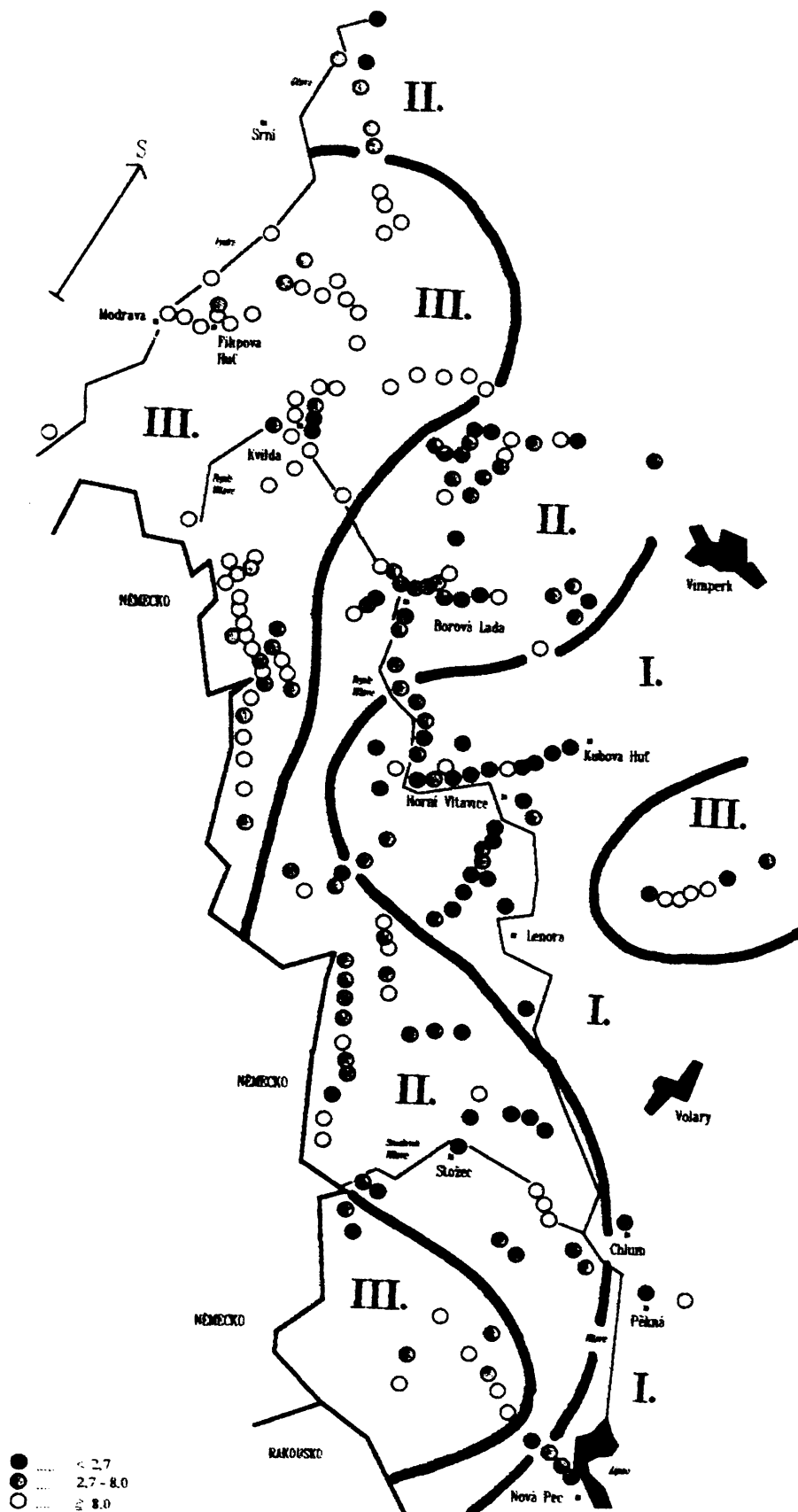
Jedná se o oblast především kolem větších sídel, která je bezprostředně pod vlivem lokálních zdrojů znečištění, jako jsou místní topeniště a frekventované silnice. Dále zde pravděpodobně působí zhoršené rozptylové podmínky, neboť podstatná část této zóny se rozkládá v nižších polohách a je ohraničená terénními vyvýšeninami (Dětinský 1996).

II – Zóna středně ovlivněná znečištěním.

Jedná se o přechod mezi zónou I a III. Mozaikovitě se vyskytuje prakticky celé spektrum hodnot IAP_{md}. Tato oblast není pod bezprostředním vlivem lokálních zdrojů, jejich vliv je však také zřetelný. Dále se zde projevuje vliv dálkových zdrojů znečištění (zvláště na návětrné straně) a silná eutrofizace substrátů zapříčiněná lidskou činností (Dětinský 1996).

III – Zóna nejméně ovlivněná znečištěním.

Zóna se rozkládá v místech s velmi nízkou hustotou sídel a komunikací a v oblasti s vysokým zastoupením lesů, nadto tato oblast není nikterak exponovaná vůči dálkovým zdrojům znečištění a nízkou úroveň emisí procházejících z automobilů. „Pufrační kapacita“ velkých lesních ploch je zřejmě dostatečná vzhledem k množství škodlivin, které se do atmosféry dostávají (Dětinský 1996).



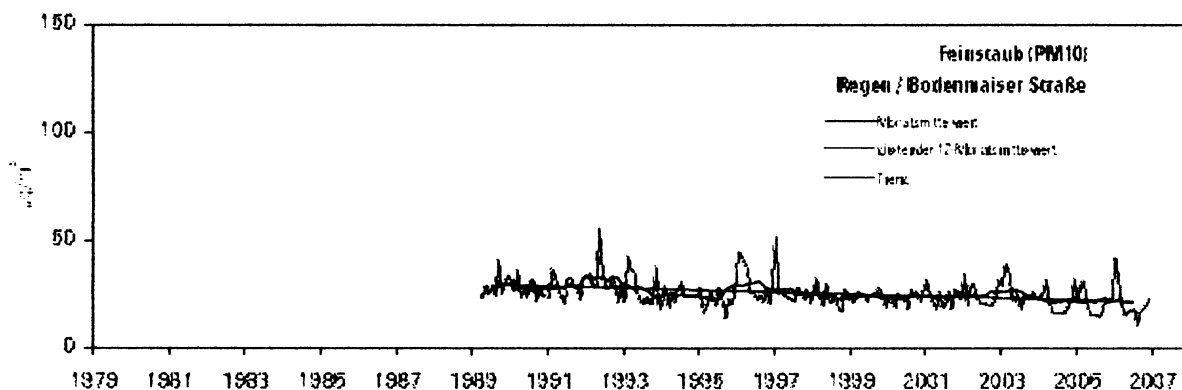
Obr. č. 7 Hodnoty IAP_{ind} na lokalitách a zonace zájmového území podle úrovně znečištění ovzduší (Dětinský 1996)

13 Národní park Bayerischer Wald

Národní park Bayerischer Wald (Bavorský les) sousedí na německé straně hranic s NP Šumava v délce 45 km. Na území NP se nevyskytuje žádná stanice, která by sledovala hodnoty koncentrací u znečišťujících látek.

Nejbližší měřicí stanice v okolí NP Bayerischer Wald se nachází v Regen v nadmořské výšce 545 m. Jedná se o pozadřovou stanici, kde se provádí měření přízemního ozonu (blíže dlouhodobý vývoj na obr. č. 8), frakce aerosolu PM₁₀ (blíže dlouhodobý vývoj na obr. č. 9), NO a NO₂. Měřicí stanice byla zprovozněna v roce 1989. Z meteorologických prvků se na stanici měří: teplota vzduchu, srážky, tlak a vlhkost vzduchu.

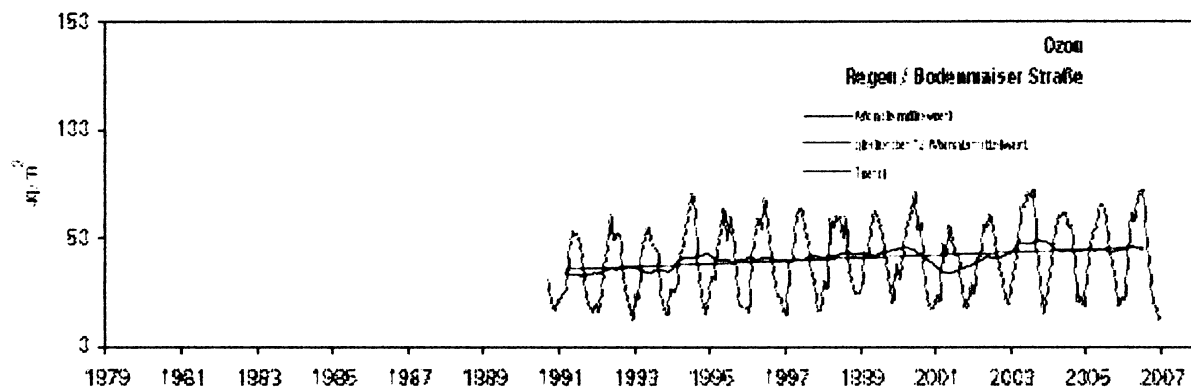
Měření atmosferické depozice probíhá na stanici Oswald Riedlhütte na území NP Bayerischer Wald pomocí metody bulk.



vysvětlivky: **černá čára** průměrná měsíční hodnota
modrá čára 12-měsíční klouzavý průměr
červená čára trend

Obr. č. 8 Vývoj imisní koncentrace aerosolu frakce PM₁₀ na stanici Regen
(Bayerisches Landesamt für Umwelt 2008)

Z obr. č. 8 je patrný dlouhodobý pokles u aerosolu frakce PM₁₀ během sledovaného období 1989 – 2007.



vysvětlivky: **černá čára** průměrná měsíční hodnota
modrá čára 12-měsíční klouzavý průměr
červená čára trend

Obr. č. 9 Vývoj imisní koncentrace přízemního ozonu na stanici Regen
 (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2008)

Z obr. č. 9 je patrný dlouhodobý vzrůstající trend u koncentrací přízemního ozonu od počátku měření (1991) až do roku 2007. Za celé sledované období nebyla překročena hodnota imisního limitu pro ochranu zdraví a ani cílového imisního limitu pro přízemní ozon (AOT40) pro ochranu ekosystémů a vegetace.

14 Závěr

Území NP a CHKO Šumava je považováno za jedno z nejméně ovlivněných oblastí antropogenní činností nejen v ČR ale také v Evropě znečišťujícími látkami v ovzduší. Tato hypotéza je oprávněná, protože naměřené hodnoty u znečišťujících látek (SO_2 , NO, NO_2 , NO_x , PM_{10}) jsou hluboko pod imisním limitem, ale v některých případech pod dolní mezí posouzení. Jedním z důvodů nízkých koncentrací škodlivin je nepřítomnost velkoplošných zdrojů znečištění ovzduší a podstatně nižší hustota automobilové dopravy.

Opačná situace je u imisních koncentrací přízemního ozonu, zjištěné koncentrace na MS Churáňov jsou trvale zvýšené, zejména v teplé polovině roku. Dochází i k překročení cílového imisního limitu pro přízemní ozon (AOT40) pro ochranu ekosystémů a vegetace na celém území NP a CHKO Šumava. Naměřené hodnoty AOT40 patří mezi jedny z nejvyšších zjištěných na celém území ČR. Jedním z důvodů překročení imisního limitu je vyšší nadmořská výška, dostatečné množství slunečního záření potřebné pro fotochemické reakce, relativně čisté ovzduší a tím i nedostatek látek potřebných k odbourání přízemního ozonu. Toto umožňuje, aby zvýšené koncentrace škodlivé látky měly poměrně dlouhodobý chod a nepříliš výrazný denní chod u této sekundární škodliviny.

Zjištěné údaje z AIM Churáňov slouží jako požadové hodnoty v relativně čistém prostředí a umožňují srovnávání s daty naměřenými v jiných lokalitách ČR.

Na území Šumavy od roku 1993 se provádí zjišťování množství usazených srážek na experimentálním povodí Liz. Měření poukazují na nezanedbatelný význam usazených srážek z hlediska ekologického i přes jeho relativně malý přínos vodohospodářský (podílí se na celkové roční depozici z větrem hnané nízké oblačnosti a mlhy 10 % na celkový roční úhrnu vertikálních srážek). Látkový přenos mlhou je významný a srovnatelný se srážkami padajícími (v případě dusičnanů a síranů), ale i převyšuje význam srážek vertikálních, a to v případě amoniakálních iontů.



15 Seznam použité literatury

- Ashmore M. R.** (2003): Surface Ozone Effects on Vegetation. In: Holton J. R., Curry J. A. and Pyle J. A. [eds.]: Encyclopedia of Atmospheric Sciences. Academic Press, Elsevier Science, London, pp. 1 663 – 1 671.
- Baldrian P., Gabriel J., Rychlovský P. and Krenželok M.** (1996): Obsahy těžkých kovů v dřevokazných houbách v Praze a na Šumavě. In: Jeník J. [ed.]: Silva Gabreta, č. 1, str. 89 – 92.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt** (2008): Luftthygienischer Jahresbericht 2007. Augsburg, pp. 172.
- Bednář J. and Zikmunda O.** (1985): Fyzika mezní vrstvy atmosféry. Academica, Praha, str. 178 – 180.
- Bednařík J.** (2002): Stručná klimatografie Churáňova. In: Staněk J. [ed.]: 50 let meteorologické stanice Churáňov. ČHMÚ, Praha, str. 33 – 65.
- Blažek Z., Černíkovský L., Coňková M., Hůnová I., Korálek J., Krejčí B., Maznová J., Novák V., Ostatnická J., Sládeček J. and Srněnský R.** (2008): Znečišťující látky ve venkovním prostředí v České republice. In: Ostatnická J. [ed.]: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2007. ČHMÚ, Praha.
- Borovička J.** (2007): Houby a stopové prvky. Vesmír, 86, č. 8, str. 508 – 511.
- Brádka J.** (1970): Srážky v závětří Šumavy při západní cyklonální povětrnostní situaci. Meteorologické Zprávy, 23, č. 5, str. 140 – 144.
- Coufal I.** (1963): Větrné poměry Churáňova. Meteorologické Zprávy, 16, č. 2, str. 41 – 45.
- Dětinský R.** (1996): Využití epifytických lišejníků pro bioindikaci znečištění ovzduší na Šumavě. In: Jeník J. [ed.]: Silva Gabreta, č. 1, str. 51 – 69.
- Dvořáková M., Fiala J., Livorová H. and Brněnský R.** (2000): Zdokonalení metod územního a časového hodnocení kvality ovzduší. Projekt 6.1: Informační zabezpečení ochrany ovzduší Státního programu péče o životní prostředí ČR. ČHMÚ, Praha.
- Fiala J. and Ostatnická J.** [eds.] (1995 – 2003): Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech. Česká republika. ČHMÚ, Praha.
- Fory T., Hladík M. and Roubal Z.** (2009): Plzeňský kraj – problematika imisí. Ochrana ovzduší, 21 (41), č. 3, str. 15 – 20.
- Gabriel J. and Baldrian P.** (1995): Těžké houby v plodnicích dřevokazných hub v Praze a na Šumavě. Nika, č. 5 – 6, str. 169.

- Hrkal Z.** (2004): Changes In Acid Atmospheric Deposition In Krušné Mts. And Šumava (Czech republic) and their impact on groundwater quality. *Water, Air, and Soil Pollution*, 157, pp. 163 – 178.
- Hrubý O. and Machálek P.** (2008): Emise (zdroje znečišťování ovzduší). In: Pospíšilová J. [ed.]: Praha – životní prostředí 2007. Magistrát hl. m. Prahy, str. 48 – 59.
- Hruška J.** (1999): Kyselá dešť a horská rašeliniště. *Vesmír*, 78, č. 8, str. 438 – 444.
- Hruška J., Krám P. and Moldan F.** (1996): Vliv kyselého deště na povrchové vody. *Vesmír*, 75, č. 7, str. 373 – 375.
- Hunová I. and Janoušková S.** (2004): Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší. Univerzita Karlova, Praha, str. 65 – 69.
- Chábera S.** [ed.] (1985): Neživá příroda. Jihočeské nakladatelství, České Budějovice, str. 122 – 153.
- Chábera S.** [ed.] (1987): Příroda na Šumavě. Jihočeské nakladatelství, České Budějovice, str. 54 – 61.
- Jones M. E., Paine T. D., Fenn M. E. and Poth M. A.** (2004): Influence of ozone and nitrogen deposition on bark beetle activity under drought conditions. *Forest Ecology and Management*, 200, pp. 67 – 76.
- Křivancová S.** (2002): Základní charakteristiky větru na Churáňově. In: Staněk J. [ed.]: 50 let meteorologické stanice Churáňov. ČHMÚ, Praha, str. 66 – 70.
- Křivancová S.** (1999): Doplnění poznatků o teplotních zvláštностech Šumavy. In: Polcar P. [ed.]: Sborník prací ČHMÚ, Sv. 47. ČHMÚ, Praha, str. 47 – 51.
- Křivancová S.** (1991): Teplotní zvláštnosti Šumavy. *Meteorologické Zprávy*, 44, č. 5, str. 143 – 149.
- Lux D., Leonardi S., Müller J., Wiemken A. and Flückiger W.** (1997): Effects of ambient ozone concentrations on contents of non-structural carbohydrates in young *Picea abies* and *Fagus sylvatica*. *New Phytologist*, 137, pp. 399 – 409.
- Majer V. and Veselý J.** (2005): Složení povrchových vod na území NP Šumava. *Silva Gabreta*, 11, č. 2 – 3, str. 69 – 81.
- MŽP** (2008): Věstník Ministerstva životního prostředí. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, str. 83 – 85.
- Nekovář F.** (1966): Některé zvláštnosti jihočeského klimatu. I. část. - Pedagogická fakulta, České Budějovice.

- Nekovář J., Otáhal P. and Stazelová Z.** (1993): Sledování obsahu těžkých kovů v lišejníku a rašeliníku v České a ve Slovenské republice. *Meteorologické Zprávy*, 46, č. 5, str. 134 – 139.
- Roubal Z.** (2002): Základní charakteristiky větru na Churáňově. In: Staněk J. [ed.]: 50 let meteorologické stanice Churáňov. ČHMÚ, Praha, str. 82 – 85.
- Sobíšek et al.** (1993): Meteorologický slovník výkladový terminologický. MŽP ČR, Praha.
- Strnad E., Tesař M., Šír M. and Kubík F.** (1988): Základní charakteristiky chodu mlhy na Churáňově 1976 – 1987. *Meteorologické zprávy*, 41, č. 4, str. 109 – 119.
- Strnad E.** (2003): Podnebí Šumavy. In: Anděra M. et Zavřel P. [eds.]: Šumava, příroda, historie a život. Baset, Havlíčkův Brod, str. 35 – 44.
- Suchara I. and Sucharová J.** (2004a): Rozložení dlouhodobě ukládaných zátěží atmosférické depozice 14 prvků na území ČR určené na základě chemických analýz lesního nadložního humusu. *Ochrana ovzduší*, 16 (36), č. 1, str. 5 – 10.
- Suchara I. and Sucharová J.** (2004b): Mezinárodní program sledování dopadů znečištění ovzduší na přirozenou vegetaci a plodiny a účast ČR při biomonitorování atmosférické depozice prvku. *Ochrana ovzduší*, 16 (36), č. 5 – 6, str. 36 – 40.
- Sucharová J. and Suchara I.** (2002): Současná úroveň atmosférické depozice prvků na území ČR a její trendy zjišťované analýzami mechu jako bioindikátoru. *Ochrana ovzduší*, 14 (34), č. 6, str. 24 – 28.
- Sucharová J. and Suchara I.** (1998): Biomonitoring of the atmospheric deposition of metals and sulphur compounds using moss analysis in the Czech republic. Results of the international biomonitoring programme 1995. Výzkumný ústav okrasného zahradnictví v Průhonicích, Pelhřimov.
- Symon K., Bencko V. a spolupracovníci** (1988): Znečištění ovzduší a zdraví. Avicenum, Praha, str. 86 – 99.
- Tesař M.** (2008): Mlhy na Šumavě. *Šumava*, č. 4, str. 9 – 10.
- Tesař M., Fišák J., Šír M. and Fottová D.** (2004a): Time and space variability of the occult precipitation in the selected mountainous and urban areas of the Czech Republic. In -: 3rd International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Cape Town, 11.10.-15.10.2004, Proceedings, s. 1 - 4, Cape Town.
- Tesař M., Šír M. and Fottová D.** (2004b): Usazené srážky na Šumavě. *Aktuality šumavského výzkumu II.*, str. 79 – 83.

- Tesař M., Fottová D., Eliáš V. and Šír M.** (2000): Occult precipitation as an important contribution to the wet deposition in Bohemian Forest. In: Vrba J. [ed.]: *Silva Gabreta*, No. 4, pp. 87 – 95.
- Uhliřová H., Hůnová I., Novotný R., Lomský B. and Horálek J.** (2003): Oxidační stres v podmínkách horských smrčín. *Zprávy lesnického výzkumu*, 48, str. 200 – 205.
- Vavruška F.** (2002): Začátky poznávání šumavského podnebí a význam MS Churáňov. In: Staněk J. [ed.]: *50 let meteorologické stanice Churáňov*. ČHMÚ, Praha, str. 9 – 10.
- Waldhauscrová P.** (2008): Když ozon škodí. *Vesmír* 87, č. 12, str. 840 – 842.
- Zapletal M.** (1997): Atmosférická depozice acidifikačních činitelů na území České republiky. *Ochrana ovzduší*, 9, č. 2, str. 12 – 20.
- Zapletal M. and Skořepová I.** (2001): Vývoj atmosférické depozice síry a dusíku s ohledem na kritické zátěže síry a dusíku v České republice v letech 1994 a 1998. *Ochrana ovzduší*, 13 (33), č. 4, str. 1 – 9.

