

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a biometeorologie



**Povětrnostní situace ovlivňující znečištění vzduchu
ve městě**

Bakalářská práce

Autor práce: Barbora Šrejberová

Vedoucí práce: Ing. Věra Kožnarová, CSc.

© 2015 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Povětrností situace ovlivňující znečištění vzduchu ve městě" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne datum odevzdání

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala paní Ing. Věře Kožnarové, CSc. za odbornou pomoc, cenné rady, poskytnuté materiály a obětavost při vedení mé bakalářské práce. Mé díky také patří rodině a přátelům, kteří mě ve psaní a práci plně podporovali.

Povětrnostní situace ovlivňující znečištění vzduchu ve městě

Souhrn

Předkládaná bakalářská práce se zabývá vlivem počasí na znečištění ovzduší v městské aglomeraci. Otázky vlivu atmosférického prostředí na znečištění ovzduší a lidský organismus se těší v celém světě již odedávna značnému zájmu.

Hlavním cílem této práce bylo sepsání literárních zdrojů souvisejících s tímto tématem. První kapitola je věnována problematice znečištění ovzduší. Je zde popsán historický vývoj, současnost a znečištění ovzduší v celosvětovém měřítku. Pozornost je tu stručně věnována emisím, imisím a atmosférickým depozicím, které lze považovat za samočisticí schopnost atmosféry. Druhá kapitola se zabývá vybranými znečišťujícími látkami, jejich zdroji a dopady na lidské zdraví.

Následující část je zaměřena na popis synoptické metody a principy tvorby synoptických map. Jsou zde vysvětleny základní pojmy jako tlakové výše a níže, atmosférické fronty a vzduchové hmoty. Dále jsou zde uvedeny biotropní účinky vzduchových hmot a atmosférických front a charakteristika jednotlivých povětrnostních situací. Na tuto charakteristiku navazuje téma, kde jsou popsány konkrétní situace ovlivňující znečištění vzduchu. Jedná se o anticyklonální situace, které jsou typické svými sestupnými pohyby, které udržují znečišťující příměsi v blízkosti zemského povrchu.

Závěrečná část je věnována teplotním inverzím, jejich rozdělení a vlivu na rozptylové podmínky znečišťujících látek. Jsou zde uvedeny vybrané havarijní situace, ke kterým docházelo v důsledku působení těchto zádržných vrstev.

Na základě zpracování této rešerše týkající se dané problematiky je zřejmý vliv povětrnostních situací na znečištění ovzduší, převážně pak v městských aglomeracích. Znečištění ovzduší ve městech se negativně projevuje na zdraví obyvatel a celkově na podmínkách pro život.

Klíčová slova: znečištění ovzduší, synoptická meteorologie, městské klima, povětrnostní situace, znečišťující látka

Air pollution in the city affected by large-scale weather situations

Summary

The present thesis deals with weather with the influence of weather on air pollution in the urban agglomeration. Questions of influence of air pollution on the environment and the human organism have always been of considerable interest worldwide. The main objective of this work was to write down literary resources related to this topic.

The first chapter is devoted to problems of air pollution. It is described here the historical development, present and air pollution on a global scale. A brief attention is here paid to emissions, imissions, and atmospheric depositions, which can be considered of self-cleaning capacity of the atmosphere. The second chapter deals with selected pollutants, their sources and impacts on the human health.

The following section focuses on the description of synoptic method and principles of creation of synoptic maps. There are explained basic concepts such as anticyclone and cyclone, atmospheric fronts and air masses. Furthermore, there are listed biotropical effects of air masses and atmospheric fronts and characteristics of individual weather events. This characteristic is followed by a theme, which describes the specific situations that affect air pollution. These are anticyclonic situations that are typical of their downward movements, which keep contaminants near the earth surface.

The final section is devoted to temperature inversions, their distribution and influence on the dispersion conditions of pollutants. There are mentioned selected emergency situations that occurred due to the effect of these restraints layers.

Based on the processing of the research on this issue there is obvious influence of weather conditions on air pollution, mainly in the urban areas. Urban air pollution has a negative impact on the overall health of the population and on the conditions for life.

Keywords: air pollution, synoptic meteorology, urban climate, weather situation, pollutant

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Problematika znečištění ovzduší.....	3
3.1.1	Složení vzduchu	4
3.1.2	Emise, znečišťování	5
3.1.3	Imise, znečištění.....	6
3.1.4	Atmosférické depozice	6
3.1.5	Globální znečištění ovzduší	7
3.1.6	Historie znečištění ovzduší České republiky.....	9
3.1.7	Současnost	10
3.2	Vybrané znečišťující látky, jejich zdroje a dopady na zdraví.....	12
3.2.1	Oxid dusičitý (NO ₂)	12
3.2.2	Suspendované částice PM ₁₀ a PM _{2,5}	12
3.2.3	Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) - benzo[a]pyren	13
3.2.4	Ozón O ₃	13
3.2.4.1	Přízemní ozon	15
3.2.4.2	Zdravotní důsledky	15
3.2.5	Oxid siřičitý SO ₂	16
3.3	Synoptická metoda	16
3.3.1	Princip tvorby synoptických map, Prostředky synoptické analýzy	18
3.3.2	Základní pojmy v synoptické meteorologii	19
3.3.2.1	Cyklóna.....	20
3.3.2.2	Brázda nízkého tlaku	21
3.3.2.3	Anticyklóna	21
3.3.2.4	Hřeben vysokého tlaku vzduchu	22
3.3.2.5	Barické sedlo	22
3.3.2.6	Vzduchové hmoty a atmosférické fronty	22
3.3.2.6.1	Teplá fronta	24
3.3.2.6.2	Studená fronta.....	24
3.3.2.6.3	Okluzní fronta.....	25
3.4	Biotropní účinky vzduchových hmot.....	25
3.5	Biotropní účinky atmosférických front.....	26

3.6	Charakteristika povětrnostních situací.....	28
3.7	Situace ovlivňující znečištění ovzduší.....	35
3.8	Teplotní inverze a znečištění vzduchu.....	36
3.8.1	Definice a dělení inverzních vrstev	36
3.8.2	Vliv inverzních vrstev na rozptylové podmínky.....	39
3.8.3	Vybrané havarijní situace v důsledku inverzních vrstev	40
3.8.3.1	Donora	40
3.8.3.2	Údolí řeky Maasy	41
3.8.3.3	Velký londýnský smog	41
3.8.3.4	Fotochemický smog v Los Angeles	42
4	Závěr.....	44
5	Seznam literatury	45

1 Úvod

Jedním ze základních úkolů meteorologie je objasňovat atmosférické procesy a přispět k minimalizaci případných škodlivých účinků na životní prostředí, resp. na znečištění ovzduší, které negativně ovlivňuje lidské zdraví. Vzhledem k celé řadě zdravotních dopadů (zvýšená nemocnost, úmrtnost, výskyt rakoviny, kardiovaskulární onemocnění atd.) patří znečištění ovzduší ve městech k hlavním oblastem zájmu. Znečištění ovzduší s sebou přináší celou řadu dalších problémů, např. poškozování ozónové vrstvy, klimatické změny, kyselé deště, smog.

V atmosféře se odehrávají děje, které bývají souhrnně označovány jako povětrnostní (synoptické) situace, které mají značný vliv na intenzitu znečištění ovzduší. Jsou to situace, kdy dochází pouze k slabé výměně vzduchu a atmosféra bývá stabilně zvrstvena. Právě stabilní zvrstvení atmosféry vede ke vzniku inverzí, které silně potlačují vertikální mísení ve vzduchové hmotě a omezují tak prostorový rozptyl znečišťujících příměsí ve vzduchu. Mají tak velký vliv na chod počasí v místě výskytu a ve spojení se zhoršenými rozptylovými podmínkami atmosféry na fyziologické procesy živých organismů. Rozptyl v atmosféře je ovlivňován především rychlostí a směrem větru, atmosférickou turbulencí a výskytem zádržných vrstev atmosféry.

2 Cíl práce

Cílem předložené bakalářské práce je vytvořit literární rešerši shrnující poznatky o synoptických situacích a antropogenním znečištění. Podrobnější popis problematiky obsahují jednotlivé kapitoly a dílčími cíli jsou:

- celkové shrnutí poznatků o problematice znečištění ovzduší (historie a současnost znečištění ovzduší, globální znečištění ovzduší, atmosférické depozice, imise, emise),
- stručný popis zdrojů vybraných znečišťujících látek a jejich dopadů na lidské zdraví,
- charakteristika synoptické metody, princip tvorby synoptických map, vymezení základních pojmů v synoptické meteorologii,
- popis biotropních účinků vzduchových hmot a atmosférických front,
- charakteristika jednotlivých povětrnostních situací a jejich vliv na znečištění ovzduší
- shrnutí poznatků o teplotních inverzích (definice, rozdělení, vliv na rozptylové podmínky).

3 Literární rešerše

3.1 Problematika znečištění ovzduší

Pro člověka je ovzduší jednou z nejdůležitějších složek životního prostředí, bez které se nemůže obejít. Nejen proto je kvalitě ovzduší věnována nemalá pozornost jak na národní tak i mezinárodní úrovni (<http://www.mzp.cz/cz/ovzdusi>).

V posledních desetiletích jsou předmětem intenzivních studií účinky znečištění ovzduší na zdraví člověka. Expozice znečišťujících látek v ovzduší je spojena se zvýšenou úmrtností a hospitalizací v důsledku respiračních a kardiovaskulární onemocnění. Tyto účinky jsou prokázány v krátkodobých i dlouhodobých studiích a jsou patrné již při velmi nízkých koncentracích (Brunekreef et Holgate, 2002).

Maynard et al. (2006) řeší ve své knize konkrétní otázky týkající se znečištění ovzduší a jeho vlivu na zdraví. Zabývají se dopadem škodlivin na expozici plic, zkoumají kardiotoxické účinky znečišťujících látek a soustřeďují se na bodové zdroje znečištění.

Znečišťující látky negativně působí i na vegetaci, mohou ovlivnit její růst a způsobit snížení výnosů zemědělských plodin a lesů. Jsou i příčinou eutrofizace a acidifikace půdních a vodních ekosystémů a následné změny druhové skladby a úbytku rostlinných a živočišných druhů. Řada znečišťujících látek má schopnost se v prostředí akumulovat, negativně ovlivňovat ekosystémy a přecházet do potravního řetězce. Dále mají některé z nich přímý nebo nepřímý vliv na klimatický systém Země. Nutné je zmínit i poškozování materiálů a budov často historického významu působením znečišťujících látek v ovzduší. Díky opatřením, realizovaným v posledních desetiletích hlavně na velkých zdrojích, došlo ke snížení emisí znečišťujících látek. Přesto však řada hospodářských a společenských aktivit produkuje stále takové množství emisí, které je v kombinaci s meteorologickými a rozptylovými podmínkami příčinou překračování imisních limitů některých škodlivých látek (Ostatnická et al., 2014).

3.1.1 Složení vzduchu

Zemskou atmosféru obklopující naši planetu tvoří směs plynů, která se souhrnně označuje jako vzduch. Čistý vzduch, který by neobsahoval žádný prach ani plynné škodlivé látky, je pouze ideální pojem a v přírodě se nevyskytuje. Při povrchu země dochází neustále k interakcím mezi ovzduším, zemským povrchem, hydrosférou, biosférou atd. Proto ani chemické složení vzduchu není stálé (Červený et al., 1984) a nepřetržitě se mění (tab. 1).

Tab. 1: Chemické složení vzduchu s akcentem na stálost a škodlivost (Červený et al., 1984)

Plynné složky	Vzduch		Proměnlivost množství	Škodlivá látka
	suchý	vlhký		
Hlavní plynné složky (%)				
dusík	78,09	75,65	ne	ne
oxid uhličitý	20,94	20,29	ne	ne
voda	-	3,12	ano	ne
argon	0,93	0,9	ne	ne
hlavní složky celkem	99,96	99,96		
Vedlejší plynné složky (ppm)				
oxid uhličitý	315	305	ano	ano
neon	18	17,4	ne	ne
hélium	5,2	5,0	ne	ne
metan	1,0	0,97	ano	ano
krypton	1,0	0,97	ano	ne
oxid dusný	0,5	0,49	ne	ano
vodík	0,5	0,49	ne	ne
oxid uhelnatý	0,1	-	ne	ano
xenon	0,08	0,08	ne	ne
ozón	0,02	-	ano	ne
čpavek	0,01	-	ne	ano
oxid dusičitý	0,001	-	ne	ano
oxid siřičitý	0,0002	-	ne	ano
sirovodík	-	-	ano	ano
uhlovodíky	-	-	ano	ano
organické páry	0,02	0,02	ne	ano
vedlejší složky celkem	341,4312	330,42		

Mezi složky vzduchu nejvíce kolísající, co do množství patří, je vodní pára a oxid uhličitý. Konkrétní množství vodní páry je závislé na teplotě vzduchu, teplotě a kvalitě

povrchu Země a na vzdálenosti od povrchu Země, ze kterého se voda vypařuje. Na procesech dýchání, hoření a výživy rostlin závisí množství oxidu uhličitého. Vzdálenost zemského povrchu také ovlivňuje množství ostatních plynů, především ozónu, jehož maximální výskyt sahá do výšky okolo 30 km. Také obsah prachu v ovzduší silně kolísá. Jeho množství je závislé na rychlosti větru, vlhkosti povrchu Země, povrchové prašnosti a na výskytu přírodních zdrojů prachu (Červený et al., 1984).

V atmosféře se dále vyskytují složky tzv. atmosférického aerosolu. Obecně aerosol definujeme jako soustavu částic pevného či kapalného skupenství rozptýlených v plynném prostředí. V tomto případě pak atmosférický aerosol lze chápat jako všechny pevné a kapalné částičky, které se všeobecně nacházející v zemském ovzduší (Bednář, 2003).

3.1.2 Emise, znečišťování

Emise lze chápat jako vypouštění hmotných látek tuhého, kapalného nebo plynného skupenství ze zdrojů do ovzduší, které buď přímo nebo po chemických změnách v atmosféře nebo ve spolupůsobení s jinou látkou, negativně ovlivňují životní prostředí (Kürfürst, 1982).

Emise mají maximální koncentraci u svého zdroje a jsou to látky různého charakteru. Do tuhých emisí patří saze, popílek a prach, kapalné emise jsou různé aerosoly sloučenin a do plynných emisí řadíme oxid uhličitý, oxidy síry, dusíku, fluorovodík, chlorovodík a také organické sloučeniny oxidy síry, uhlíku a dusíku (Dirner, 1997).

Pro vypouštění emisí do atmosféry se používá pojem znečišťování ovzduší, který označuje činnost nebo děj. V obecném slova smyslu se do pojmu znečišťování ovzduší zahrnuje celá řada činností, zamořujících zemskou atmosféru, od vypouštění hmotných látek přes emise škodlivého elektromagnetického záření (nejen radioaktivního ale i mikrovlnného), až po hluk, teplo a další. Z hlediska místa vzniku se rozlišuje primární a sekundární znečišťování. Primárním se rozumí úlet znečišťujících látek z emisních zdrojů a sekundární představuje chemické změny, jimiž prochází většina znečišťujících látek během šíření exhalací v atmosféře. Následky znečišťování ovzduší jsou jeho negativní účinky na jednotlivé příjemce, ať už je to člověk, zvířata, rostliny, voda, půda, krajina nebo atmosféra samotná (Kürfürst, 1982).

3.1.3 Imise, znečištění

Látky, které jsou transportovány a následně rozptýlené a chemicky i fyzikálně pozměněné, přicházející do styku s okolní přírodou nebo živými organismy, jsou označovány jako imise. Imise mohou být plynné, kapalné nebo tuhé (Dirner, 1997).

Znečištění ovzduší lze chápat jako přítomnost imisí v ovzduší v takové době a míře trvání, kdy se projeví nepříznivé ovlivňování životního prostředí. Tento pojem tedy označuje určitý stav, který je důsledkem původního děje. Obsah imisí v těch místech zemské atmosféry, v nichž jsou příjemci vystaveni účinkům znečištěného ovzduší, je rozhodující pro míru působení (Kurfürst, 1982).

3.1.4 Atmosférické depozice

Atmosférická depozice je definována jako přenos či tok látek z atmosféry směrem k zemskému povrchu, přičemž velikost depozičního toku látek lze popsat hmotností sledované látky deponované na jednotku plochy za určitou časovou jednotku. Právě díky depozici, která je považována za samočisticí schopnost atmosféry, nedochází ke kumulování látek v atmosféře, neboť tyto procesy představují významný propad látek v ovzduší. Během depozičních procesů jsou z atmosféry odstraňovány látky, které byly do ovzduší emitovány jak přirozenými, tak i antropogenními zdroji, a stejně tak i látky, které v atmosféře vznikly jako produkty chemických reakcí. U atmosférické depozice jsou rozlišovány dvě složky: složka suchá a mokrá, jejichž součtem je dána depozice celková (Braniš et Hůnová, 2009).

Mokrá depozice se uskutečňuje srážkovou činností. Má především složku vertikální: sních, déšť, mrholení a ostatní padající srážky, které spolu s vodou přináší řadu rozpuštěných i nerozpuštěných látek, zachycených prašných a aerosolových částic. Na čtverečný metr povrchu pevnin spadne ročně průměrně 784 l vody a každý litr srážkové vody obsahuje v průměru zhruba 10 g rozpuštěných látek (Moldan, 1992).

Mezi nejhojnější chemické prvky tímto způsobem přenášené patří C, S, N, Ca, Cl, Na, K, Mg, Si, Al, Fe. Kvantitativně méně významným typem mokré depozice jsou srážky usazené, ke kterým patří zejména ledovka, jíní, rosa, popř. voda usazená za mlhy a námraza. Mineralizace vod z usazených srážek je v průměru podstatně vyšší než u srážkových vod ze srážek padajících. Množství usazených srážek je velmi proměnlivé a zatím přesně nekvantifikovatelné, v místech s vyšší nadmořskou výškou, na horách, může podíl látek přenesených usazenými srážkami dokonce i převýšit transport spojený se srážkami padajícími (Moldan, 1992).

Druhou složkou celkové atmosférické depozice je depozice suchá, která má dvě hlavní součásti: absorpci plyných složek a usazování tuhých částic. Zemský povrch a veškeré objekty na něm absorbují atmosférické plyny v proměnlivé míře. Jedná se například o absorpci oxidu siřičitého a oxidů dusíku.

Depozice tuhých částic je z největší části spojena s gravitační sedimentací (spadem) prachových a největších aerosolových částic. Naproti tomu malé aerosolové částice podobně jako molekuly plynů pouze v malé míře ulpívají na povrchu, jsou zachycovány mechanicky, elektrickými nebo jinými silami a jenom z malé části jsou tedy odstraňovány z ovzduší. Atmosférické depozici se věnuje velká pozornost proto, že tímto způsobem jsou vnášena podstatná množství cizorodých látek do životního prostředí. Zejména se jedná o látky kyselého charakteru – kyselá depozici se tedy říká kyselý déšť (Moldan, 1992).

3.1.5 Globální znečištění ovzduší

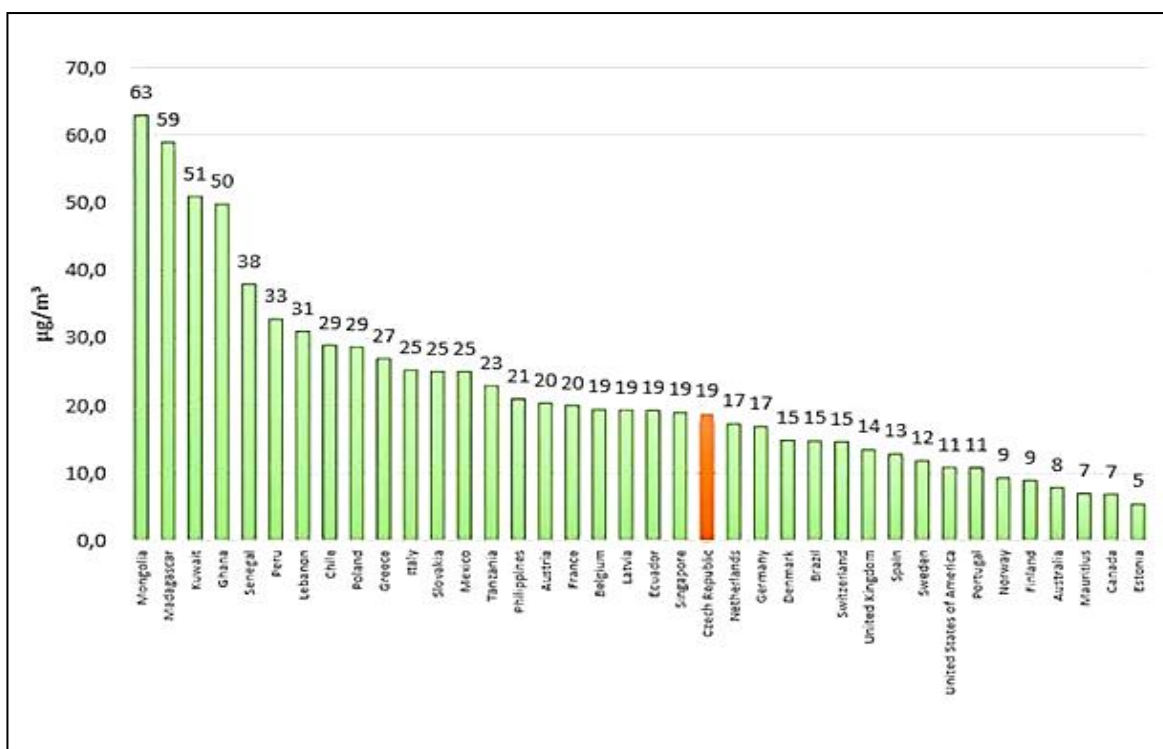
Kvalita ovzduší je sledována a kontrolována v celosvětovém měřítku. Existují dvě světové organizace, které se problematikou ovzduší zabývají. Jednou z nich je World Meteorological Organization – Světová meteorologická organizace (WMO), která se zabývá kvalitou ovzduší, zpracováním analýz o stavu ovzduší, publikováním zpráv a map. Druhá organizace nese název World Health Organization – Světová zdravotnická organizace (WHO), která pod záštitou OSN zkoumá vliv znečištěného ovzduší na lidské zdraví (Vlčková, 2013).

Znečištěné ovzduší lze rozdělit do tří skupin, a to na lokální, regionální a globální. Rozloha lokálního znečištění se pohybuje v rozměrech $1 \text{ km}^2 - 10 \text{ km}^2$. Jedná se zde o stanovení škodlivin v ovzduší ve městech nebo naopak v chráněných oblastech. Z hlediska analýzy ovzduší se získané výsledky porovnávají s imisními limity. U regionálního znečištění mluvíme o územních celcích s rozlohou 10^2 km^2 až 10^3 km^2 . Globální znečištění se projevuje hlavně u látek dlouhodobě stálých, které se do ovzduší dostávají především v důsledku lidské činnosti (Kaličinská, 2006).

Z globálního hlediska mluvíme o znečištění ovzduší zejména ve východní části Severní Ameriky, také Evropy a čím dál tím více i ve východní Asii. Na dlouhodobém znečištění ovzduší v těchto oblastech má především zásluhu antropogenní činnost. Jedná se především o intenzivní průmysl, zvyšující automobilovou dopravu a samozřejmě samotný počet a hustotu obyvatel. Mezi hlavní škodliviny, které se do ovzduší dostávají, jsou zařazeny oxidy síry a dusíku, těžké kovy a organické sloučeniny. Právě oxidy síry a dusíku jsou součástí kyselých dešťů a podílejí se na jejich tvorbě. Důsledkem podstatného snížení

znečištění ovzduší v Severní Americe a Evropě bylo přijetí mezinárodních dohod. Bohužel v rozvojových zemích se čím dál více setkávají s lokálním znečištěním ovzduší. S nejkritičtější situací se potýká díky rychlé industrializaci a urbanizaci východní Asie, především pak jihovýchodní Asie, kde ke znečištění navíc přispívá častý výskyt požárů biomasy. Organizace WHO zveřejnila v roce 2011 seznam měst s nejvíce nebo nejméně znečištěným ovzduším zatíženým prachovými částicemi PM₁₀ a PM_{2,5} (pevné částice do velikosti 2,5 nebo 10 um). Dle dostupných dat z uvedeného seznamu v letech 2003-2010 bylo vyhodnoceno 1099 měst a 91 států podle množství prachových částic (Vlčková 2013).

Nejvíce znečištěné ovzduší na světě mají státy Mongolsko, Botswana nebo Pákistán. Česká republika je v porovnání v celosvětovém měřítku na úrovni Singapuru nebo Španělska. Nejméně postižené státy prachovými částicemi PM₁₀ jsou Estonsko, Mauritius nebo Austrálie. Hovoříme-li o kvalitě ovzduší ve městech, bylo zjištěno, že mezi nejvíce znečištěná města patří Ahwaz (Írán), Ulánbátar (Mongolsko), Sanandaj (Írán), Ludhiana (Indie) a Quetta (Pákistán). Roční průměr prachových částic PM₁₀ přesahoval 250 µg/m³. V České republice byl zaznamenán roku 2008 nejvyšší roční průměr PM₁₀ (38 µg/m³). Naopak za rok 2009 se mohou pyšnit nejnižší koncentrací PM₁₀ města USA a Kanady, například Whitehorse, Clearlake.



Obr. 1 Roční průměr PM_{2,5} v zemích z let 2003-2009 (Vlčková, 2013)

Dále je uvedeno (obr. 1), že z 38 států, které uvádějí koncentrace $PM_{2,5}$, jsou podle WHO nejvíce zatíženými státy Mongolsko, Madagaskar, Kuwait, Ghana. Naopak v Estonsku, Kanadě nebo na Mauritiu byly naměřeny nejmenší koncentrace $PM_{2,5}$. Mezi nejvíce znečištěná města dle WHO patří Ulánbátar (Mongolsko), Antananarivo (Madagaskar), Kuwait City (Kuwait) a Mexicali (Mexiko), kde průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$ přesahovaly $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nejvyšší roční průměr v České republice byl zaznamenán za rok 2008 a to v Ostravě, kde naměřili ($27,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), což odpovídá znečištění Athénám v Řecku (Vlčková, 2013)

3.1.6 Historie znečištění ovzduší České republiky

V průběhu vývoje naší planety se složení atmosféry postupně měnilo. Například působením rostlin a mořských řas došlo ke zvýšení obsahu kyslíku. Antropogenní vlivy nebyly dříve tak významné, dokud nedošlo k náhradě palivového dříví uhlím. Již z 18. a 19. stol. jsou z Anglie a Německa známy škody na vegetaci způsobené právě znečištěním ovzduší. Na konci 19. století však rozsah škod vážně varoval před nekontrolovaným znečišťováním ovzduší. V Anglii ve středověku byly vydány první dekrety proti černému kouři. V ČR dílčí administrativní opatření na ochranu čistoty ovzduší byla přijata před první světovou válkou. První zprávy o škodách způsobovaných znečištěním ovzduší pocházejí z Kladenska, Podkrušnohoří, Karlovarska a z Ostravska, kde se soustřeďoval rozvinutý průmysl a těžba uhlí (Červený et al., 1984).

V padesátých letech 20. století se postupně rozvíjel těžký průmysl a výstavba hnědouhelných elektráren v Podkrušnohoří, což mělo za následek zhoršení imisní situace v regionu. V tomto období se stal hlavním garantem sledování imisní situace tzv. Ústav hygieny v Praze. Koncem padesátých let byl zapojen do omezování znečištění ovzduší i Český hydrometeorologický ústav a rozvinul systematická měření v nejvíce znečištěných oblastech. V 70. letech se, dle údajů OSN, Československo nacházelo na 3. místě nejvyššího zatížení SO_2 v Evropě po NDR a Belgii. 80. léta znamenala pro ČR maximální znečištění ovzduší. Na zhoršené imisní situaci měly zásluhu i četné inverze. Masivní poškození a odumírání lesů vedlo k jejich velkoplošné těžbě. Začaly také probíhat demonstrace pro čisté ovzduší ze strany veřejnosti. Mezi hlavní zdroje znečištění patřily nejen tepelné elektrárny, ale i lokální topeniště, dálkový přenos škodlivin a zvyšující se doprava.

Vznik ministerstva životního prostředí v 90. letech a převedení ČHMÚ do jeho působnosti umocnilo zájem o kvalitu ovzduší. Na celém území ČR vznikla automatizovaná síť sledování kvality ovzduší, zaměřená na škodliviny jako oxid siřičitý, prach a oxidy dusíku.

Odsíření elektráren a pokles emisí prachových částic byl významným zlomem koncem 90. let. Postupně se pozornost zaměřila na sledování jemných prachových částic PM_{10} a ozonu. Informační systém kvality ovzduší (ISKO) je rozvíjí od roku 1992. ISKO obsahuje i data mnohem starší, jelikož navazuje na dřívější Imisní informační systém (IIS), který například hromadil údaje o koncentracích oxidu siřičitého a prašného aerosolu ze stanic ČHMÚ v severních Čechách a v Praze již od roku 1971. Počátkem 21. století byla monitorovací síť komplexně rekonstruována a doplněna o sledování dalších látek, především polyaromatických uhlovodíků a s postupem času i jemných prachových částic $PM_{2,5}$ (<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/ruzne/vystava/CISTOTA/1.pdf>).

3.1.7 Současnost

V současnosti představují největší problém ze sledovaných znečišťujících látek suspendované částice a na ně vázané polycyklické aromatické uhlovodíky. V letním období jsou na řadě lokalit překračovány imisní limity přízemního ozonu. Obecně platí, že lokální vytápění domácností tuhými palivy je významným zdrojem suspendovaných částic a polycyklických aromatických uhlovodíků (celkově v zemích EU i v ČR). V oblastech zatížených dopravou se mohou vyskytovat zvýšené koncentrace oxidu dusičitého. Doprava je také významným zdrojem suspendovaných částic a polycyklických aromatických uhlovodíků. Významnými zdroji znečišťujících látek zůstávají i nadále veřejná a průmyslová energetika a zemědělství. Konkrétní podíl jednotlivých zdrojů na znečištění ovzduší je však v různých oblastech odlišný, záleží na skladbě zdrojů v dané oblasti, ale také na přenosu škodlivin z jiných oblastí. Znečištění ovzduší suspendovanými částicemi frakce PM_{10} a $PM_{2,5}$ zůstává jedním z hlavních problémů, které je třeba řešit v rámci zajištění kvality ovzduší ČR. Překračování imisního limitu PM_{10} a $PM_{2,5}$ se stále významným způsobem podílí na zařazení obcí mezi oblasti s překročenými imisními limity (Ostatnická et al., 2014).

V řadě let došlo k překročení imisního limitu PM_{10} na území ČR. Roční imisní limit pro PM_{10} byl v roce 2012 překročen na 0,9 % území ČR, denní imisní limit pro PM_{10} na 9,6 % území, kde žije přibližně 31 % obyvatel. Oproti roku 2011 došlo ke snížení počtu lokalit, na kterých bylo indikováno překročení ročního i denního imisního limitu pro PM_{10} . Nejvíce zatíženou oblastí v roce 2012 bylo, stejně jako v předešlých letech, Ostravsko – Karvinsko. Jedná se o důsledek toho, že v uvedené oblasti k dopravě a lokálním zdrojům (vytápění domácností), které jsou hlavními zdroji suspendovaných částic, přistupují další významné zdroje emisí PM_{10} - hutní průmysl a průmysl zpracování paliv. Podle výsledků měření jemnější frakce suspendovaných částic $PM_{2,5}$ byl imisní limit překročen na 2,4 %

území ČR. Oproti roku 2011, kdy byl imisní limit pro PM_{2,5} překročen na 2,6 % území, se nejedná o výrazné zlepšení.

Lokálně došlo v roce 2012 k překročení imisního limitu NO₂, a to na stanicích umístěných v dopravně exponovaných lokalitách: Praze, Brně a Ostravě. Úhrnem se jedná o 0,02 % území republiky. Opakovaně jsou překračovány imisní limity pro benzo(a)pyren. V roce 2012 byl tento limit překročen na 26,5 % plochy České republiky, kdy žije asi 66 % obyvatel. Pro srovnání v roce 2011 se jednalo o 16,8 % plochy území České republiky a 60,2 % populace. Ostatní stanovené imisní limity nebyly překročeny. Koncentrace přízemního ozonu se oproti předchozímu tříletému období 2009–2011 výrazně neměnila. V porovnání s předchozím tříletým obdobím došlo celkově k nepatrnému zvýšení počtu lokalit s překročením hodnoty imisního limitu 120 µg.m⁻³. Imisní limit (dle bodu 5. přílohy č. 1 k zákonu o ochraně ovzduší, dříve označovaný jako „dlouhodobý imisní cíl“) byl v roce 2012 překročen na všech lokalitách (vyjma jedné dopravní lokality).

Tab. 2 Imisní limity pro ochranu zdraví a maximální počet jejich překročení (http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity_CZ.html)

	Doba průměrování	Mez pro posuzování [µg.m ⁻³]		Imisní limit [µg.m ⁻³] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
SO ₂	1 hodina	—	—	350 max. 24x za rok
	24 hodin	50 max. 3x za rok	75 max. 3x za rok	125 max. 3x za rok
NO ₂	1 hodina	100 max. 18x za rok	140 max. 18x za rok	200 max. 18x za rok
	kalendářní rok	26	32	40
PM ₁₀	24 hodin	25 max. 35x za rok	35 max. 35x za rok	50 max. 35x za rok
	kalendářní rok	20	28	40
PM _{2,5}	kalendářní rok	12	17	25
Pb	kalendářní rok	0,25	0,35	0,5
CO	maximální denní 8hod. klouzavý průměr	5 000	7 000	10 000
Benzen	kalendářní rok	2	3,5	5

Limity (tab. 2) stanovené pro přízemní ozon jsou překračovány i v dalších státech Evropy. V sousedních státech České republiky jsou koncentrace srovnatelné ([http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zprava_okvalite_ovzdusi/\\$FILE/OOOinformace_imisni_monitoring_2012_final20140131.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zprava_okvalite_ovzdusi/$FILE/OOOinformace_imisni_monitoring_2012_final20140131.pdf)).

3.2 Vybrané znečišťující látky, jejich zdroje a dopady na zdraví

3.2.1 Oxid dusičitý (NO₂)

Více než 90 % antropogenních emisí NO₂ představují emise NO. Hlavním antropogenním zdrojem NO₂ v ČR je silniční doprava a mobilní zdroje v zemědělství a lesnictví, veřejná energetika a výroba tepla, spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví (http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/tab/tabI5_CZ.html).

Hlavním efektem krátkodobého působení vysokých koncentrací NO₂ je nárůst reaktivity dýchacích cest. V řadě studií se potvrdilo, že množství hospitalizací a návštěv pohotovosti pro astmatické potíže dětí je závislé na koncentraci NO₂ v ovzduší. Četné analýzy našly souvislost mezi působením oxidu dusičitého a zvýšením celkové, kardiovaskulární a respirační úmrtnosti, ale je obtížné až nemožné oddělit účinky dalších, současně působících látek (http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty_zdravi/rizika_CR_2013.pdf).

3.2.2 Suspendované částice PM₁₀ a PM_{2,5}

Primární částice jsou emitovány přímo jako kapalné nebo pevné částice. Sekundární částice vznikají v atmosféře fyzikálními a chemickými procesy ze svých plynných prekurzorů SO₂, NO, VOC a NH₃. V ČR je největším antropogenním zdrojem vytápění domácností, silniční doprava, polní práce (sklizeň, orba), veřejná energetika a výroba tepla (http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/tab/tabI5_CZ.html).

Účinek částic závisí na jejich velikosti, tvaru a chemickém složení. Velikost částic je rozhodující pro průnik a ukládání v dýchacím traktu. Větší částice jsou zachyceny v horních partiích dýchacího ústrojí. Částice frakce PM₁₀ se dostávají do dolních cest dýchacích. Jemnější částice označené jako frakce PM_{2,5} pronikají až do plicních sklípků. Účinky suspendovaných částic jsou ovlivněny také adsorpcí dalších znečišťujících látek na jejich povrchu. Pro působení aerosolových částic v ovzduší nebyla zatím zjištěna bezpečná prahová koncentrace.

Předpokládá se, že citlivost jedinců v populaci má tak velkou variabilitu, že ti nejcitlivější jsou v riziku účinků i při velmi nízkých koncentracích. Krátkodobé zvýšení denních koncentrací suspendovaných částic frakce PM₁₀ se podílí na nárůstu celkové nemocnosti i úmrtnosti, zejména na onemocnění srdce a cév, na zvýšení počtu osob hospitalizovaných pro onemocnění dýchacího ústrojí, zvýšení kojenecké úmrtnosti, zvýšení výskytu kašle a ztíženého dýchání – zejména u astmatiků a na změnách plicních

funkcí při spirometrickém vyšetření. Dlouhodobě zvýšené koncentrace mohou mít za následek snížení plicních funkcí u dětí i dospělých, zvýšení nemocnosti na onemocnění dýchacího ústrojí, výskyt symptomů chronického zánětu průdušek a zkrácení délky života zejména z důvodu vyšší úmrtnosti na choroby srdce a cév a pravděpodobně i na rakovinu plic (http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty_zdravi/rizika_CR_2013.pdf).

3.2.3 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) - benzo[a]pyren

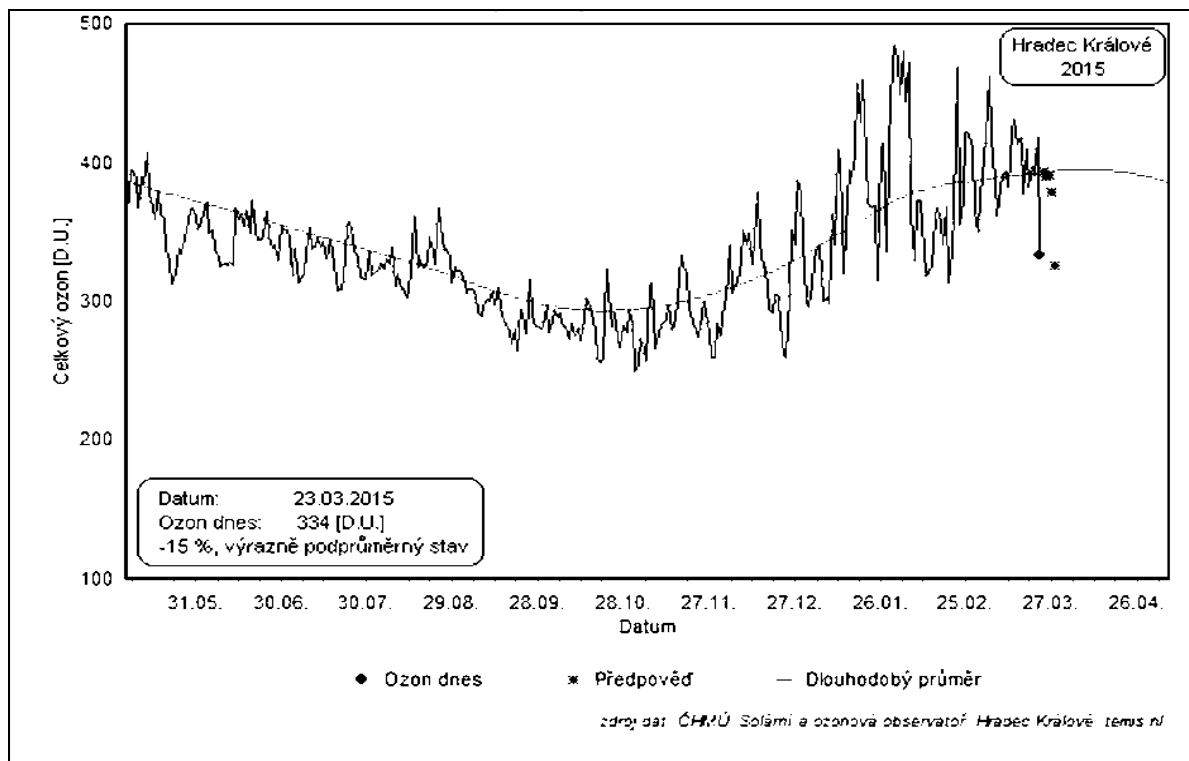
Mezi hlavní zdroje benzo[a]pyrenu v ČR patří vytápění domácností, doprava a spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví.

PAU mají schopnost přetrvávat v prostředí, kumulují se v jeho složkách a v živých organismech, jsou lipofilní a řada z nich má toxické, mutagenní či karcinogenní vlastnosti. Patří mezi endokrinní disruptory, ovlivňují porodní váhu a růst plodu. Ve vysokých koncentracích (převyšujících koncentrace nejen ve venkovním ovzduší, ale i v pracovním prostředí) mohou mít dráždivé účinky. V praxi je nejvíce používaným zástupcem PAU při posuzování karcinogenity benzo[a]pyren, ten je z hlediska klasifikace karcinogenity od roku 2010 zařazen IARC do skupiny 1 prokázaný karcinogen (http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty_zdravi/rizika_CR_2013.pdf).

3.2.4 Ozón O₃

Ozón má třetí největší podíl na skleníkovém efektu atmosféry. Absorbuje krátkovlnné sluneční záření v pásmu od 210 – 300 nm, a tím umožňuje život na naší planetě. Většina ozónu se nachází ve stratosféře s maximální koncentrací ve výškách 25 km. Ozón je málo rozpustný ve vodních oblacích a srážkách. Vymývání O₃ srážkami se v troposférickém cyklu ozónu pokládá za minoritní proces. Ve srážkové vodě se O₃ podílí na oxidaci rozpustného SO₂. Hlavním mechanismem odstraňování O₃ z troposféry je interakce s povrchem – suchá depozice. Na tvorbě ozónu ve volné troposféře se podílejí oxid uhelnatý a uhlovodíky s dlouhou dobou setrvání v ovzduší, hlavně methan. V přízemním ovzduší měst a průmyslových oblastí, bohatých na uhlovodíky i oxidy dusíku, může při anticyklonální stagnaci v letním období dosáhnout koncentrace O₃ (obr. 2) velmi vysoké úrovně (Závodský et Závodská, 1994).

Nižší koncentrace ozonu byly prokázány ve Vancouveru a dalších pobřežních městech Kanady, které leží v mírném podnebném pásu, což je důvodem nižšího slunečního záření a tepla, které podporují fotochemické reakce (Vanos et al., 2013).



Obr. 2 Denní průměry celkového ozonu (<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ozon/o3uvb.html>).

Aktuálním tématem je stav ozónové vrstvy, která je součástí stratosféry ve výšce 25 až 35 km nad zemským povrchem.

V polovině září roku 2014 dosáhla velikost „ozónové díry“ nad Antarktidou svého ročního maxima - to je vzhledem k sezónnímu průběhu standardní. Roku 2014 tak její maximální velikost lehce přesahovala 24 milionu čtverečních kilometrů, což zhruba odpovídá velikosti území severní Ameriky. Největší oblast se sníženým množstvím ozónu byla zaznamenána na začátku září roku 2000 a tehdy se její rozloha blížila k 30 miliónům čtverečních kilometrů. Od roku 2006 se její velikost výrazně snižuje.

Ozónová vrstva chrání živé organismy na Zemi před potenciálně nebezpečným ultrafialovým zářením. Od roku 1980 docházelo k zeslabování ozónové vrstvy vlivem vypouštění některých zplodin (především freonů) a vznikly tak oblasti s výrazně sníženým množstvím ozónu. Díky podpisu tzv. Montrealského protokolu v roce 1987, který omezuje používání těchto látek (dnes je k němu přidáno několik dodatků), se úbytek ozónové vrstvy

pravděpodobně zpomaloval. Údaje z posledních let ukazují, že se jej pravděpodobně podařilo zastavit (<http://www.meteocentrum.cz/zpravy/page.php?page=14112802>).

3.2.4.1 Přízemní ozon

Přízemní ozon je specifickým polutantem, protože nemá svůj vlastní primární zdroj emisí. V zemské atmosféře dochází k jeho tvorbě za účinku slunečního záření soustavou fotochemických reakcí mezi tzv. prekurzory ozonu. Mezi nejvýznamnější prekurzory vzniku ozonu náleží oxidy dusíku (NO), těkavé organické látky (VOC – Volatile Organic Compounds), oxid uhelnatý (CO) a methan (CH₄). Na chemických reakcích se také podílí celá řada dalších složek v atmosféře a navíc významnou roli hraje volný radikál -OH. Tyto znečišťující látky mají sami o sobě i další specifické účinky na lidské zdraví a ostatní živé organismy (Forman, 2011).

3.2.4.2 Zdravotní důsledky

Ozon je tedy součástí fotochemického smogu, což je směs látek obsahující ozon a tzv. fotooxidanty vzniklé reakcemi organických těkavých látek, nespálených uhlovodíků a některých dalších organických sloučenin s oxidy dusíku za přítomnosti slunečního záření. Látky v něm obsažené mají velmi nepříznivé fyziologické účinky, vyvolávají slzení, dýchací potíže, snížení imunity a některé z nich patří mezi karcinogeny (<http://www.enviweb.cz/eslovník/96>).

Ozon je jen slabě rozpustný ve vodě. Vdechovaný O₃ není zadržován vnějšími dýchacími cestami, ale vniká hluboko do jejich vnitřních vrstev. V tomto ohledu se odlišuje ozon od jiných látek znečišťujících vzduch. Vyšší koncentrace ozonu podněcuje sliznice a vede k pálení očí, suchému kašli a – především u tělesného zatížení – také k pocitům tísní. Podle intenzity a doby tělesného zatížení, které probíhá vlivem ozáření ozonem, nastupují symptomy různé koncentrace:

- Změny plicních funkcí

Asi 10 % dětí reaguje již na koncentraci ozonu okolo 120 µg/m³, a sice omezením funkce plic, přičemž hraje jistou roli i doba denní expozice a míra aktivity dětí. Škodlivé látky ve vnitřním prostředí, jako např. tabákový kouř, zhoršují spolu s ozonovým efektem funkci plic.

- Přecitlivělost dýchacích cest

Jako následek vystavení ozonu se nechá zjistit rovněž nárůst nespecifických bronchiálních přecitlivění, při opakující se expozici ozonu zůstává bronchiální hyperaktivita

po delší dobu. U astmatických dětí a atopiků, je vliv ozonu na bronchiální hyperaktivitu značnější než u pacientů bez bronchiálního přecitlivění, popř. u zdravých dětí.

- Zánětlivé změny

Pozadím změn funkce plic a bronchiální hyperaktivity jsou záněty sliznice, které mohou být prokazatelné na bronchiální sliznici jako na sliznici nosní. Chronické záněty poplicnice by mohly vést k fibróze. Elasticita poplicnice se zmenšuje a plíce rychleji stárnou. Rychlé stárnutí plic je ovšem patrné zvláště u zvířat (<http://www.allum.cz/ozon>).

3.2.5 Oxid siřičitý SO₂

Oxid siřičitý je emitován do ovzduší při spalování paliv s obsahem síry. Mezi nejvýznamnější antropogenní zdroje patří veřejná energetika a výroba tepla, vytápění domácností a spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví (Kurfürst, 1982).

SO₂ má dráždivé účinky na oči a dýchací soustavu. Vysoké koncentrace mohou způsobit respirační potíže. Zánět dýchacích cest způsobuje kašel, vylučování hlenu, zhoršení astmatu a chronické bronchitidy a zvyšuje náchylnost k infekcím dýchacích cest. Lidé trpící astmatem a chronickým onemocněním plic jsou k působení SO₂ mimořádně citliví (http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/tab/tabI5_CZ.html).

3.3 Synoptická metoda

Synoptické mapy se sestavují na základě pozorování při povrchu Země a aerologických pozorování různých hladin nebo povrchů, což umožňuje trojrozměrnou analýzu. Podle synoptických map dostala název i synoptická metoda studia a předpovědi počasí, která je založená na odhalování fyzikálních zákonitostí rozvoje atmosférických jevů pomocí synoptických map. Synoptická metoda je výkonným prostředkem studie atmosférických dějů velkých rozměrů. Forma této metody je geografická, ale má hlubokou fyzikální podstatu. Na základě zákonů fyziky atmosféry umožňuje studovat a odhalovat příčiny změn počasí (Zverev, 1986).

Synoptická metoda se neustále rozvíjí a zdokonaluje, přičemž nastává postupný přechod od kvalitativních forem analýzy a předpovědi ke kvantitativním. Synoptická metoda nabývá nového obsahu ve spojitosti se zavedením objektivních forem analýzy a hydrodynamických (numerických) metod předpovědi polí meteorologických prvků.

Základní myšlenkou synoptické analýzy je porovnání charakteristik počasí nanesených na povětrnostní mapě, přičemž se porovnávají:

- hodnoty jedné jisté meteorologické charakteristiky v rozdílných bodech, v různých výškách v určitém časovém momentě,
- hodnoty rozdílných meteorologických charakteristik v jednom bodě, v různých bodech a v různých výškách v určitém časovém momentě,
- hodnoty jednoho nebo rozdílných meteorologických prvků v časových momentech následujících po sobě v jednom i různých bodech.

Základní principy synoptické analýzy:

1. Komplexnost analýzy – Charakteristiky počasí je třeba analyzovat komplexně, je nutné brát v potaz jejich vzájemnou spojitost a podmíněnost.
2. Trojrozměrnost analýzy – Vlastnost atmosféry nelze zkoumat na jedné horizontální ploše, ale ve velké hloubce atmosféry v rozdílných hladinách (troposféra a spodní stratosféra).
3. Časová následnost analýzy – „Sladění“ analyzované mapy počasí s analýzou předcházejících map. Děje, které se odehrávají v atmosféře, trvají obvykle dlouho a lze je sledovat na mapách počasí, které následují za sebou. Při správné analýze nelze narušit logickou postupnost rozvoje atmosférických dějů.

Nejdůležitějšími výhodami synoptické metody je její operativnost a názornost. Na jednu mapu lze zakreslit údaje o počasí z velkých geografických oblastí, z polokoule nebo celé zeměkoule. V souladu s tím, je možné zhotovit předpověď počasí pro libovolnou oblast Země, včetně oblastí velmi vzdálených od místa vyhotovení předpovědi. Je to velmi důležité například pro operativní zabezpečení letadel na dlouhých letových trasách.

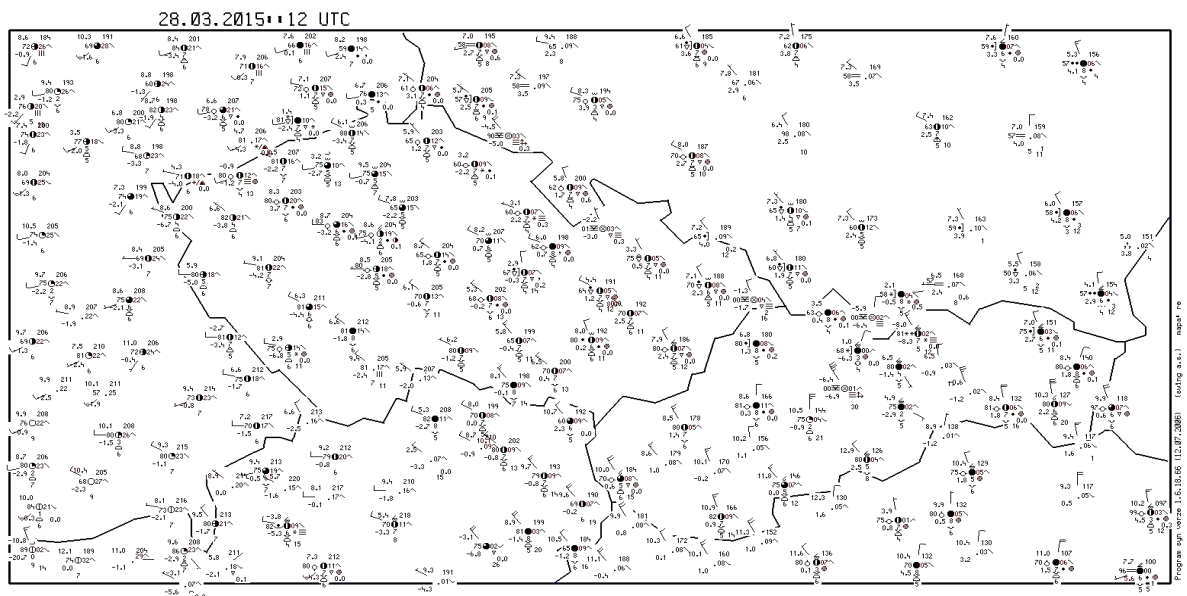
Synoptická metoda umožňuje poměrně úspěšně překonávat těžkosti spojené s nedostatkem meteorologických informací a jejich neúplností v prostoru a čase. Dosahuje toho díky interpolaci, což je nacházení intervalové hodnoty meteorologického prvku na základě jeho hodnot na dvou nebo několika meteorologických stanicích, a extrapolace – nacházením předpokládané hodnoty meteorologického prvku za hranicemi oblastí, kde je hodnota daného prvku známa. Interpolace a extrapolace se uskutečňuje v prostoru (vertikálně nebo horizontálně) a v čase (mezi pozorovacími termíny i mimo ně).

Synoptická metoda má v závislosti od zvláštnosti řešeného problému odlišné formy. Existují např. podstatné rozdíly v aplikaci synoptické metody pro krátkodobé a dlouhodobé předpovědi počasí (Zverev, 1986).

3.3.1 Princip tvorby synoptických map, Prostředky synoptické analýzy

Povětrnostní mapa je sestavena dle určitého schématu a používá se řada symbolů. Povětrnostní stanice na celém světě přinášejí měření a pozorování, aby bylo možné mapy zkonstruovat. Pozorování se provádějí ve standartních termínech, a to buď každých 6 hodin, nebo každé 3 hodiny. Jednotlivé meteorologické předpovědní stanice předávají staniční hlášení o těchto jevech: celkové pokrytí oblohy (0/8 – 8/8), druh oblaků, výška oblaků, tlak vzduchu, změna tlaku vzduchu za poslední tři hodiny, tlaková tendence, teplota vzduchu, směr větru, síla větru, dohlednost, teplota rosného bodu, množství srážek za posledních 6 hodin, stav počasí (za poslední hodinu), průběh počasí (za posledních 6 hodin)

Došlá staniční hlášení se zanášejí formou symbolů do staničního schématu (obr. 3). Je obvyklé, že se pro povětrnostní hlášení používá mezinárodní meteorologický kód, přičemž sdělení je zašifrováno ve formě číslic a ty jsou uspořádány v pětimístných skupinách. Tento způsob kódování povětrnostních zpráv umožňuje poměrně rychlé zhotovení map (Roth, 1999).



Obr. 3 Synoptická mapa ČR (www.chmi.cz).

Analýza atmosférických dějů a předpovědi počasí si vyžaduje použití různých prostředků:

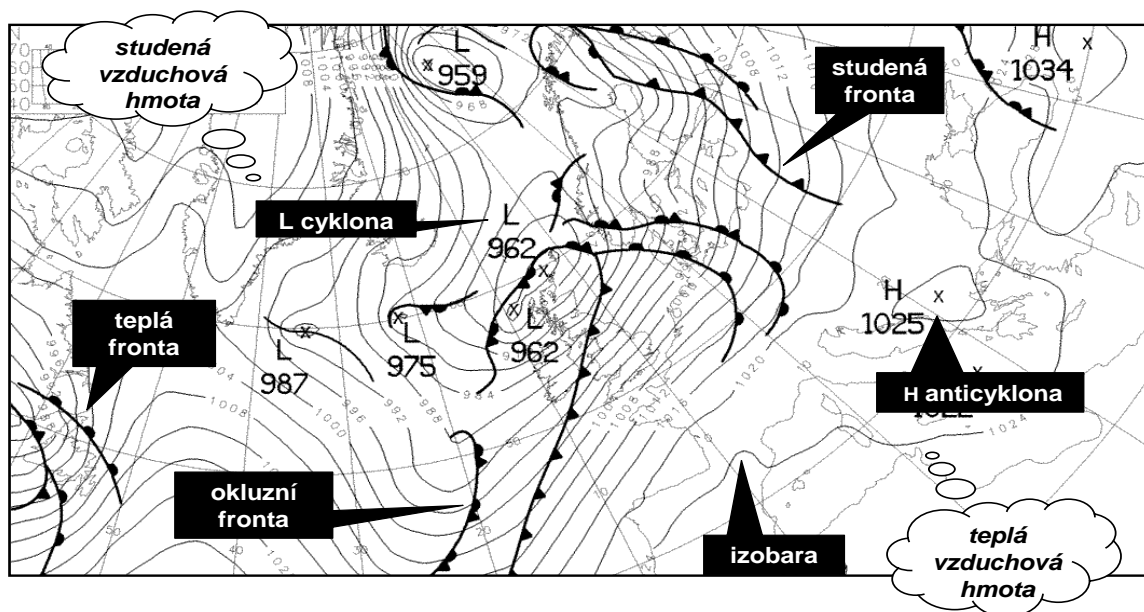
- 1) mapy počasí – přízemní, výškové,
- 2) diagramy a grafy - aerologické diagramy,
 - vertikální řezy atmosférou,
 - pomocné nomogramy, tabulky a grafy.

Do přízemní povětrnostní mapy se zakreslují údaje, které obsahuje synoptická zpráva. Pořadí zakreslených údajů a dohodnuté symboly jsou uvedené v Návodech pro povětrnostní službu. Přízemní povětrnostní mapy zaznamenávají oblasti různých velikostí v závislosti na účelu jejich zhotovení. Mohou to být mapy jednotlivých polokoulí, mapy pokrývající oceány, kontinenty apod. (Zverev. 1986).

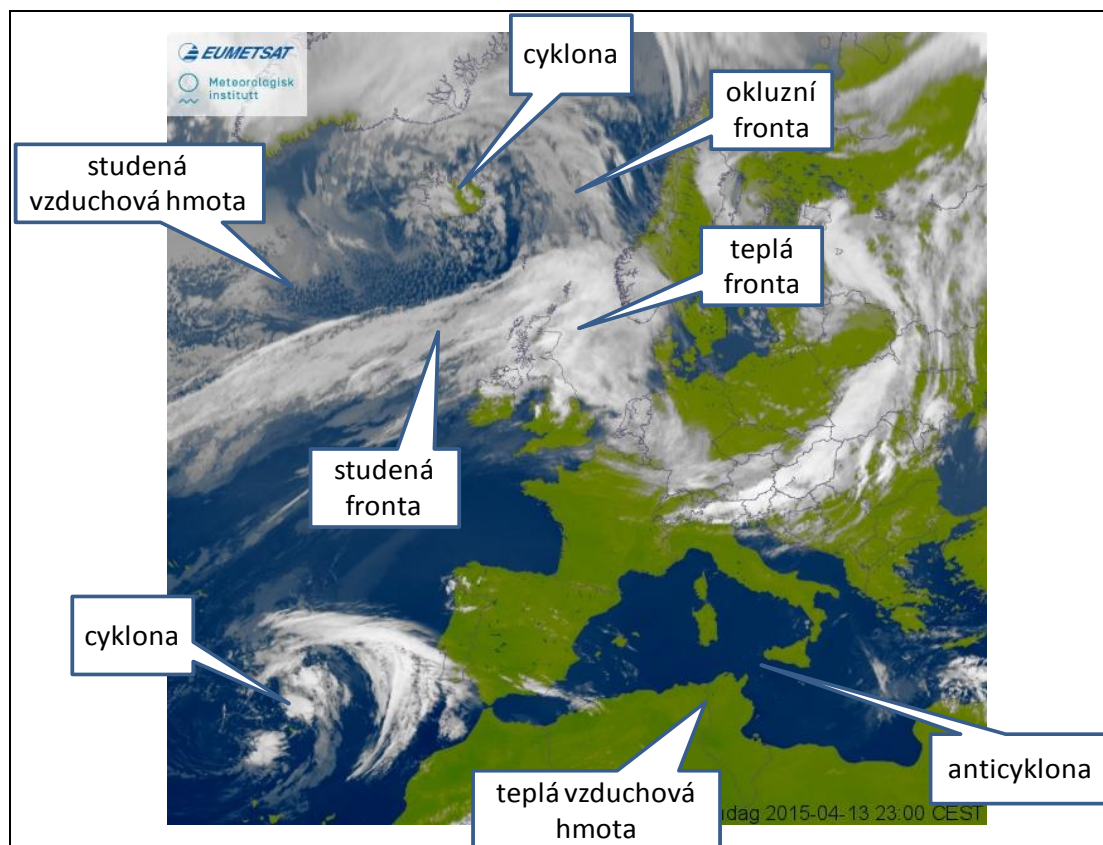
3.3.2 Základní pojmy v synoptické meteorologii

Počasí a jeho změny jsou spojené s atmosférickou cirkulací. Při veškeré složitosti atmosférické cirkulace lze v jejím rámci vyčlenit zřetelně se projevující strukturální elementy, jakými jsou barické útvary, atmosférické fronty a vzduchové hmoty. Právě tyto elementy jsou základními objekty synoptické analýzy, a proto je nazýváme synoptickými objekty (obr. 4). Vzduchové hmoty, atmosférické fronty, cyklóny i anticyklóny jsou nositelem charakteristických typů počasí a synoptická analýza těchto elementů všeobecné cirkulace atmosféry je klíčem k pochopení změn počasí a jeho předpovědi (Zverev, 1986).

Barickými útvary nazýváme oblasti nízkého a vysokého tlaku vzduchu, které se vytvořily v důsledku nerovnoměrného rozložení tlaku vzduchu. Protože pole tlaku vzduchu je úzce spojené s polem větru, barické útvary se vyznačují charakteristickým prouděním vzduchu. Systém tlakových útvarů tvoří barické pole (reliéf). Barické útvary se na mapách počasí zobrazují izoliniemi, které nazýváme izobary. K oblastem nízkého tlaku patří cyklóny a brázdy nízkého tlaku, k oblastem vysokého tlaku patří anticyklóny a hřebena vysokého tlaku (Zverev, 1986).



Obr. 4 Přízemní mapa (Kožnarová in Vaněk et. al., 2007).



Obr. 5 Základní elementy synoptické analýzy (<http://www.yr.no/satellitt/europa.html>).

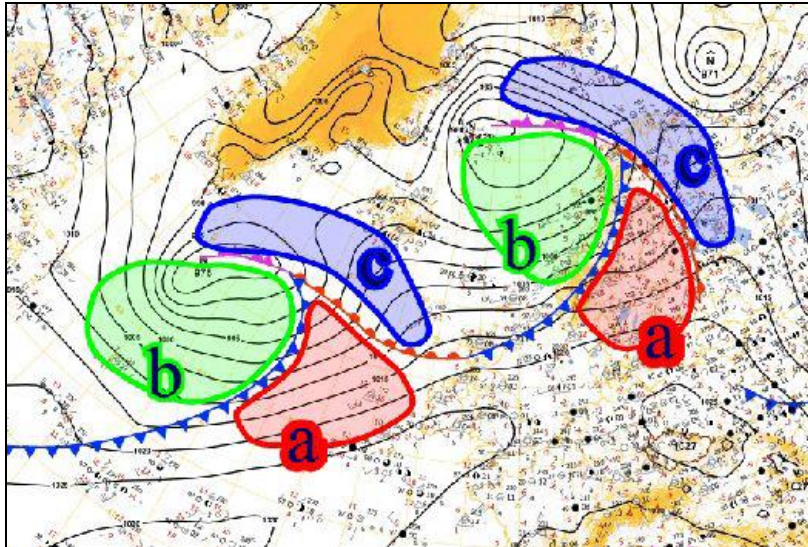
3.3.2.1 Cyklóna

Cyklóna je oblast nízkého tlaku vzduchu s nejnižším tlakem v samotném středu. Izobarické plochy v cyklóně klesají od okraje do jejího středu, jsou uzavřené a mohou nabývat různých forem. Průměr cyklóny (horizontální osa) dosahuje 100 až 3000 km vertikální rozměr 15 až 20 km. Tlak vzduchu se ve středu cyklóny v mírných zeměpisných šířkách mění od 950 hPa do 1030 hPa. Průměrný tlak vzduchu ve středu cyklóny (hloubka) je 1000 hPa.

Cyklóna se vyznačuje charakteristickým systémem vzduchových proudů. V poli proudění je cyklóna obrovským vírem. Ve vrstvě tření je střed cyklóny bodem sbíhavosti vzduchových proudů, tzn. pole proudění, které se skládá ze dvou jednoduchých polí, a to kruhového a sbíhajícího se do středu. V cyklóně převládají výstupné pohyby vzduchu (Zverev, 1986).

Počasí související s tlakovou níží může být velmi rozmanité. Schematicky je možné typickou mladou cyklónu rozdělit na tři zóny (obr. 6): 1. přední a střední část studeného sektoru, 2. tylová část studeného sektoru, 3. teplý sektor. V první zóně je počasí ovlivňováno

zejména teplými frontami na přední straně cyklóny, druhá zóna má počasí velmi závislé na rychlosti anticyklonálního tlakového pole a stabilitě studené vzduchové hmoty a počasí teplého sektoru je zase velmi závislé na roční době, blízkosti středu cyklóny a rychlosti proudění (Racko, 2011).



Vysvětlivky:

- a) teplý sektor frontální cyklony
- b) týl cyklony
- c) přední strana cyklony

Obr. 6 Schéma cyklony na synoptické mapě (Racko, 2011).

3.3.2.2 Brázda nízkého tlaku

Brázda nízkého tlaku je pásmo nízkého tlaku, ležící mezi dvěma oblastmi vysokého tlaku. Často je to výběžek cyklóny, například brázda tvaru písmene „V“. Čára, podél které je tlak vzduchu v brázdě nejnižší, se nazývá osou brázdy. Izobarické hladiny v brázdě klesají od periférie k její ose a mají tvar koryta s vypuklou částí obrácenou dolů. Pole proudění v barické brázdě má cyklonální charakter a ve vrstvě tření je osa brázdy čarou sbíhavosti vzduchových proudů. V brázdě nízkého tlaku převládají výstupné pohyby vzduchu s oblačným počasím a častými srážkami (Zerev, 1986).

3.3.2.3 Anticyklóna

Anticyklóna je oblast vysokého tlaku vzduchu s nejvyšším tlakem ve středu a je obklopená uzavřenými izobarami. Izobarické hladiny se zvyšují od periférie ke středu anticyklóny a mají tvar nepravidelných kupolí. Anticyklóny mají přibližně stejné rozměry jako cyklóny. Anticyklóna je mohutný vzduchový vír s prouděním na severní polokouli ve směru pohybu hodinových ručiček a na jižní polokouli proti pohybu hodinových ručiček. Střed anticyklóny ve vrstvě tření je bodem rozbíhavosti proudění. Ve volné atmosféře jsou

proudnicí téměř totožné s izobarami. Převládají zde sestupné pohyby vzduchu a počasí s malou oblačností (Zverev, 1986).

Představa počasí v anticyklóně je pro veřejnost spojená s ustáleným slunečným počasím. Tato zjednodušená představa platí jen pro případy letních, vertikálně vyvinutých anticyklón. V zimních anticyklónách převládá často inverzní charakter počasí s nízkou oblačností a mlhami, zejména v centrální a zadní (teplé) části anticyklóny. V přední části anticyklón se vyskytuje převážně chladné proudění a počasí má proměnlivější charakter (Racko, 2011).

3.3.2.4 Hřeben vysokého tlaku vzduchu

Hřeben představuje pásmo vysokého tlaku mezi dvěma oblastmi nízkého tlaku vzduchu. Často je to výběžek periferní části anticyklóny. Čára v oblasti hřebene, která představuje geometrické místo bodů s nejvyšším tlakem, se nazývá osa hřebene. Izobarické plochy se zvyšují od periferie k ose hřebene a mají tvar koryta obráceného vypuklou částí nahoru. Osa hřebene tvoří ve vrstvě třetí čáru sbíhavosti vzduchových proudů. V hřebeni převládají sestupné pohyby vzduchu a málooblačné počasí (Zverev, 1986).

3.3.2.5 Barické sedlo

Barické sedlo je oblast mezi dvěma cyklónami a dvěma anticyklónami, položenými křížem. Izobarické hladiny mají tvar sedla. Zdvíhají se směrem k anticyklónám a klesají směrem k cyklónám. Barické sedlo je charakteristické slabými větry (Zverev, 1986).

3.3.2.6 Vzduchové hmoty a atmosférické fronty

V systému atmosférické cirkulace oddělujeme podle daných podmínek počasí relativní homogenní vzduchové hmoty obrovských rozměrů. Horizontální rozměry vzduchových hmot dosahují řádově $10^3 - 10^4$ km a vertikální rozměry několik km. Vzduchová hmota cirkulující dlouhou dobu nad určitou geografickou oblastí, kterou označujeme jako ohnisko jejího vzniku, nabude fyzikální vlastnosti charakteristické pro danou oblast a roční období, tzn., že získá charakteristické horizontální i vertikální rozložení teploty a vlhkosti vzduchu, pole oblačnosti a srážek, zvláštních jevů apod. Přemísťování se vzduchových hmot do jiných oblastí Země způsobuje změnu počasí. Je přirozené, že při přemísťování vzduchové hmoty a její následné stabilizaci v nové oblasti se postupně mění její původní vlastnosti, v důsledku toho se vzduchová hmota určitého typu mění na vzduchovou hmotu jiného typu. Děj, při kterém nastává změna vlastností vzduchové hmoty, se nazývá transformace (Zerev, 1986).

Úzké přechodné vrstvy mezi sousedící teplou a studenou vzduchovou hmotou se nazývají atmosférické fronty. Vyznačují se náhlou změnou počasí. Uvnitř vzduchové hmoty se teplota v horizontálním směru mění pomalu (postupně), zatímco v oblasti atmosférické fronty je tato změna rychlá (mění se skokem).

Atmosférická fronta je tedy poměrně tenká vrstva vzduchu, při zemi mívá tloušťku většinou jen několik set metrů, je však dlouhá řádově stovky kilometrů. I když na synoptických mapách jsou atmosférické fronty znázorněny jen frontálními čarami, jsou to útvary prostorové. Pouze jejich malá tloušťka vzhledem k horizontálním rozměrům vzduchových hmot, které oddělují, připouští si je zjednodušeně představovat jako plochy a průsečnice s povrchem jako čáry. Protože jejich sklon vůči ideálně rovnému zemskému povrchu je malý, mohou se povětrnostní jevy vázané na fronty vyskytovat i ve velkých vzdálenostech před frontální čarou nebo za ní (Munzar et kol., 1989).

Výrazné atmosférické fronty souvisí zpravidla s cyklónami a brázdami nízkého tlaku vzduchu, protože právě tyto barické útvary se vyznačují velkými kontrasty meteorologických prvků, především teploty vzduchu.

Atmosférické fronty, které zasahují celou troposféru nebo její větší část, nazýváme troposférickými nebo vysokými frontami. Naproti tomu fronty, které sahají jen do výšky hraniční vrstvy atmosféry, nazýváme přízemními nebo nízkými frontami. Fronty dělíme na teplé, studené a stacionární (málo pohyblivé). Fronty, které se přemisťují na stranu studeného vzduchu, nazýváme teplými frontami. Studené fronty se přemisťují směrem k teplé vzduchové hmotě. Stacionární se nazývá fronta, která svou polohu podstatněji nemění. Přemisťování front závisí na systému vzduchových hmot a cirkulace.

V teplém vzduchu nad frontální plochou obvykle vznikají uspořádané výstupné pohyby vzduchu, v důsledku kterých se vytváří frontální oblačný systém a padají frontální srážky. Přejít atmosférické fronty přes určitý bod nebo oblast je spojený s výraznými neperiodickými změnami počasí v daném bodě. Cyklóny vznikají a vyvíjejí se zpravidla na atmosférických frontách, proto zobrazení front na synoptické mapě patří k nejdůležitějším úlohám synoptické analýzy.

V troposféře a spodní stratosféře mezi vysokými studenými cyklónami a vysokými teplými anticyklónami se vytvářejí přechodné vrstvy. Tyto přechodné vrstvy jsou nazývány jako výškové frontální zóny (VFZ). Délka výškové zóny dosahuje řádově 10^3 až 10^4 km a šířka 10^2 až 10^3 km. Mimořádně jasné VFZ pozorujeme ve vrstvě od 3 do 12 km a jsou většinou spojené s jednou nebo několika výškovými frontami. VFZ se vyznačuje velkými

horizontálními gradienty teploty a tlaku vzduchu a také velkou rychlostí větru (100 km.h⁻¹). Výšková frontální zóna má podstatnou úlohu při tvorbě a vývoji barických útvarů.

3.3.2.6.1 Teplá fronta

Teplá fronta je úzké rozhraní mezi studeným a teplým vzduchem, které se pohybuje směrem k studenému vzduchu. Nad celým povrchem teplé fronty, která je skloněna ve směru jejího postupu, pomalu vystupuje lehčí teplý vzduch nad ustupující klín těžšího studeného vzduchu. V souvislosti s výstupnými pohyby vzduchu dochází ke kondenzaci vodní páry, takže se na teplé frontě vytváří mohutný systém typické vrstevnaté oblačnosti, která sahá stovky kilometrů před frontální čáru (Munzar et al., 1989).

Před příchodem teplé fronty se jako první objevují vysoké oblaky druhu Cirrus (Ci) a Cirrocumulus (Cc), postupně i Cirrostratus (Cs), který poté přechází do husté oblačnosti Altostratus (As). Z As už obvykle vypadávají srážky, které v letním období někdy ani nedosáhnou zemského povrchu. Po As nastupuje vertikálně mohutná vrstva oblaků Nimbostratus (Ns), z kterých vypadávají srážky někdy více, někdy méně souvislé. Všeobecně jsou srážky před teplými frontami v chladném půlroku vydatnější než v tom teplém (Racko, 2011)

S blížící se teplou frontou se snižuje viditelnost, popř. vzniká i mlha a klesá tlak vzduchu. Po jejím přechodu trvalý déšť nebo sněžení postupně přestávají, oblačnost se protrhává a zvedá. Vítr se stáčí doprava a tlak vzduchu se buď nemění, nebo nadále zvolna klesá (Munzar et al., 1989).

3.3.2.6.2 Studená fronta

Studená fronta je úzké rozhraní mezi teplým a studeným vzduchem, které se pohybuje směrem k teplému vzduchu. Postupuje za teplou frontou rychlostí v průměru o 40 % vyšší – většinou kolem 50 km/h – a uzavírá teplý sektor tlakové níže. Projevuje se většinou kupovitou oblačností s přeháňkami, v létě i bouřkami. Viditelným příznakem je někdy též přechod dešťových přeháněk ve sněhové (Munzar et al., 1989).

Rozeznáváme studené fronty prvního druhu a studené fronty druhého druhu. V prvním případě je frontální oblačnost plošně rozsáhlejší a po oblacích druhu Cu a Cb následuje po přechodě studené fronty ještě sled oblačnosti opačný jako při postupu teplé fronty, tedy Ns – As – Cs. Studená fronta prvního druhu se vyskytuje nejvíce v blízkosti středu cyklón. Dále od středu cyklón se vyskytuje častější studená fronta druhého stupně, který je typický užším

pásmem převážně konvektivní oblačnosti. Srážky na studených frontách mají větší charakter přeháněk a zejména v letním období můžou být velmi intenzivní. Za studenými frontami dochází k výraznému zlepšení dohlednosti, při vyvinutějších cyklonách i k zesílení větru. Směr větru se mění z jižního až jihozápadního před frontou na západní až severozápadní za frontou. Tlak vzduchu před studenou frontou obvykle klesá a za frontou stoupá, ale podobně jako je to v oblasti teplé fronty, i zde závisí na tendenci tlaku vzduchu od stádia vývoje cyklóny (Racko, 2011).

3.3.2.6.3 Okluzní fronta

Okluzní fronta vznikne tehdy, když rychlejší postupující studená fronta „doběhne“ teplou frontu. Teplý vzduch, který byl v teplém sektoru cyklóny, bývá vytlačován do vyšších vrstev troposféry, takže po přechodu okluzní fronty bývá „starý“ studený vzduch nahrazen „novým“ studeným vzduchem. V závislosti na tom, zda „nový“ studený vzduch je teplejší nebo chladnější než „starý“, rozlišujeme teplé a studené okluzní fronty (Racko, 2011).

Pokud byl studený vzduch pronikající za studenou frontou teplejší než studený vzduch ustupující před teplou frontou, vznikla okluzní fronta charakteru teplé fronty. V případě, že pronikající studený vzduch za studenou frontou byl chladnější, vznikla okluzní fronta charakteru studené fronty. Počasí na okluzních frontách se tedy podobá buď počasí typickému pro teplou frontu nebo počasí typickému pro studenou frontu (Munzar et al., 1989).

3.4 Biotropní účinky vzduchových hmot

Od konce druhé světové války se v medicínsko-meteorologickém výzkumu prosazuje synoptické pojetí vzduchových hmot. Ilustrací využití geografických klasifikací vzduchových hmot pro potřeby medicínsko-meteorologického výzkumu může být studie Belekeho a Kleina, kteří při studiu vlivu počasí na výskyt infarktu myokardu analyzovali také samostatný biotropní účinek vzduchových hmot. Zjistili mimo jiné, že výskyt infarktu myokardu vzrůstá ve dnech, kdy převládají v přízemní vrstvě kontinentální vzduchové hmoty. Značnou korelaci našli zejména s tzv. indiferentními vzduchovými hmotami. Zdůvodňují to tím, že pro tuto vzduchovou hmotu, která „zestárla“ nad pevninou, je charakteristický značný obsah znečišťujících látek ve formě prachu a aerosolů nejrůznějšího druhu v přízemní vrstvě atmosféry, což se může projevit výraznými biologickými účinky na oběhový systém.

V našich poměrech byl sledován vznik pneumonií v souvislosti s charakterem vzduchových hmot. Ukázalo se, že vzniku pneumonií předchází všeobecně v průběhu roku

nakupení arktických vzduchových hmot, ať kontinentálního nebo maritimního původu. V letním období se přede dnem onemocnění častěji vyskytují maritimní polárně-arktické vzduchové hmoty, z čehož bylo možno usoudit, s přihlédnutím i k dalším meteorologickým podmínkám, že k větší frekvenci onemocnění dochází především v chladnějších a vlhčích dnech léta. V přechodných ročních obdobích nastávala pneumonie častěji ve dnech, kdy převládaly maritimní tropické vzduchové hmoty, ve dnech s vyšší vlhkostí a srážkami.

Z významných prací tohoto typu lze jmenovat studii Abela a kol., kteří zkoumali vliv vzduchových hmot na roční chod poliomyelitidy (dětské obrny) ve Střední Evropě. Autorům se velmi osvědčilo rozlišovat období narůstání, vrcholu a odeznívání jednotlivých cyklů epidemií. Období narůstání epidemií dle jejich údajů souvisela statisticky významně často s výskytem teplých vzduchových hmot, při fázi doznívání dominovaly studené vzduchové hmoty (Matoušek et Květoň, 1977).

3.5 Biotropní účinky atmosférických front

Jedním z nejstarších a dosud nepoužívanějších komplexních atmosférických faktorů v medicínsko-meteorologickém výzkumu jsou atmosférické fronty. Nejčastěji bývá sledována souvislost biologických jevů s přechody front. Ty se podle povahy biologických dat sledují buď s hodinovou, nebo denní přesností.

Na základě odlišného biologického účinku studených a teplých front se někteří autoři pokusili rozdělit meteorotropní choroby na dvě velké skupiny, z nichž jedna je charakterizována zánětlivými procesy, druhá poruchami nervového systému. Hranice mezi oběma skupinami není přesná, vlivy zánětlivé a nervové poruchy se prolínají a vzájemně doplňují. Uvádí se, že náhlé přechody studených front všeobecně způsobují či zhoršují průběh nervových poruch a křečových stavů, teplé fronty přispívají ke vzniku nebo zhoršení zánětlivých procesů (Matoušek et Květoň, 1977).

Beckerovo königsteinské medicínsko-meteorologické pracoviště považuje za nejcitlivější na změny počasí nemocné s poruchami srdce a krevního oběhu, kteří reagují téměř na všechny poruchy počasí, nejsilněji pak právě na průchod studených front a na labilní výkyly. Téměř stejně často, i když o něco méně výrazně, reagují nemocní astmatem bronchiale na studené fronty, turbulenci v přízemní vrstvě a labilní výkyly. Vznik embolií je zřetelně ovlivněn studenými frontami, labilními výkyly a opět turbulentními procesy v přízemních vrstvách vzduchu. Větší náchylnost k nespavosti byla pozorována v souvislosti s výkluzními plochami především teplých front, zatímco na druhé straně období s nerušeným

klidným spánkem souvisela s bezporuchovým počasím a v menší míře se skluznými ději (Matoušek, 1987).

Sledování výskytu biologických jevů v závislosti na přechodu front přineslo mnohé zajímavé výsledky a umožnilo odhalit řadu meteorotropních nemocí. Dokázalo se, že s frontami jsou spojeny zvláště výrazné biologické účinky. Teprve detailnější sledování procesů, které se na frontálních rozhraních odehrávají, však umožnilo lépe postihnout takové skutečnosti, jako je např. závislost biologických jevů na intenzitě front nebo hromadění některých biologických jevů (např. revmatických potíží) ještě před vlastním přechodem teplých front při zemi. V posledně jmenovaném případě se již ve 40. letech prokázalo, že výskyt biologických jevů souvisí s frontálními procesy podél celého frontálního rozhraní, tj. i s procesy, odehrávajícími se vysoko nad zemským povrchem (obr. 7). Ty mohou u teplých front předbíhat vlastní přechod fronty při zemi až o 24 hodin (Matoušek et Květoň, 1977).

příznivý nepříznivý	POČASÍ		VÝKLUZNÉ DĚJE			KONVEKCE		FRONTY			SESTUPNÉ PROCESY		
	anticyklonální	cyklonální	stabilní	labilní	subtropické	přízemní	mohutná	teplá	studená	okluzní	sesedání	skluzu	inverze
koncent. schopnost	blue	pink					yellow		pink		blue		
reakční doba	blue	red	cyan	pink	pink	yellow	cyan	red	red	red	blue	red	red
dopravní nehody	blue	red			pink						blue	red	
pracovní úrazy					pink								
bolest pocity	cyan	pink		pink	pink			pink	pink		cyan		
spavost					pink					pink	yellow	cyan	cyan
hloubka spánku			cyan	red	pink	yellow	cyan	red	yellow	yellow	blue	red	
astma bronchiale		red	yellow	yellow	red	yellow	red	pink	red	red	cyan	cyan	red
apoplexie		pink			red			pink	red	yellow			
angina pectoris	blue	red	cyan	red	red	cyan	red	pink	red	red	blue	cyan	
infarkt myokardu	blue	red			red	pink	pink	red	red	red		pink	yellow
srdeční smrt	blue	red	yellow	red	pink	blue		red	red	red	blue	pink	
úmrť	blue	red			red			red	red	red	blue	pink	
embolie	cyan	pink		pink	pink	yellow	pink	pink	pink	yellow	cyan	pink	
ledvinová kolika		pink			red				red		blue	cyan	
žlučnicková kolika		pink			red				red		blue	cyan	
perforace žaludku		pink	pink	pink	pink	blue	cyan	pink	red	pink	blue	blue	yellow
appendicitis		pink			red		red				blue	blue	yellow
expuls. krvácení	pink											pink	
glaukom	cyan	pink						pink	pink	pink		pink	
bolesti hlavy		pink			pink			pink		pink			
sebevraždy	cyan	pink			pink			pink		pink			

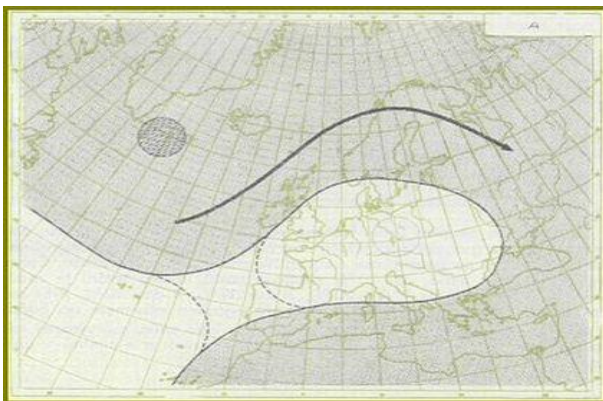
Obr. 7 Shrnutí důležitých výsledků výzkumu biotropie počasí podle Beckera a Strödera (Kožnarová dle Matoušek et Květoň, 1977)

3.6 Charakteristika povětrnostních situací

Synoptická typizace, či klasifikace povětrnostních podmínek a cirkulace patří k populárním tématům a v minulém století bylo vytvořeno nespočetné množství metod. Stehlík (2002) ve své práci prezentuje objektivní klasifikace cirkulačních typů pro území České republiky. Výhodou klasifikace cirkulačních podmínek do jednotlivých charakteristických typů je umožnění interpretace a zajištění dostatečné četnosti určitého typu podmínek. Pro ČR byla vyvinuta Brádkova klasifikace a Brázdilova a Šteklova klasifikace, pro Britské ostrovy je používána Lambova klasifikace, pro Německo a střední Evropu klasifikace Baurova, resp. Hesse a Brezowského, pro území Řecka byla vyvinuta klasifikace Maherasem. Od roku 1946 se pro území České republiky pravidelně sestavuje kalendář synoptických typů. Kalendář povětrnostních situací je založen na Katalogu povětrnostních situací pro území ČSSR (Brádka et al., 1961) a je pravidelnou součástí informací v časopise Meteorologické zprávy vydávaným Českým hydrometeorologickým ústavem. V současnosti se podle rozložení synoptických objektů rozlišuje 25 povětrnostních situací.

- **A – anticyklóna nad střední Evropou**

Nad střední Evropou se udržuje kvazistacionární tlaková výše, vyjádřená i ve vyšších hladinách. Je vyplněna relativně teplým vzduchem s výjimkou studené přízemní vrstvy v zimním období (obr. 8).

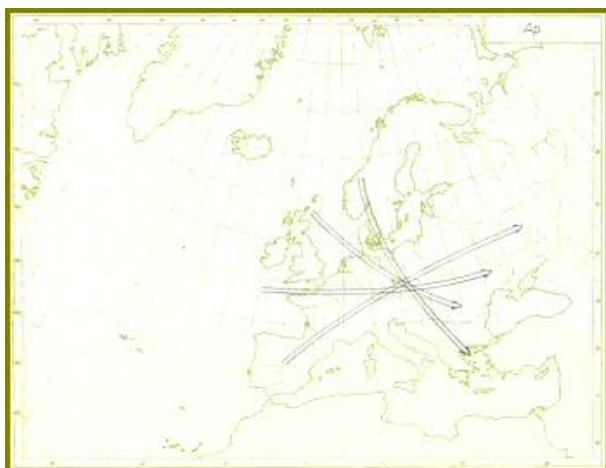


Obr. 8 Anticyklóna nad střední Evropou

(http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_12_Typizace_situaci&nc=1&portal_lang=cs#PP_Typizace_situaci)

- **Ap – putující anticyklóna**

Anticyklóna je vyjádřená pouze v přízemním tlakovém poli (obr. 9), je vyplněna relativně studeným vzduchem a postupuje přes střední Evropu – podle směru postupu se člení na čtyři skupiny: **Ap1** – od jihozápadu k severovýchodu, **Ap2** – od západu k východu, **Ap3** – od severozápadu k jihovýchodu, **Ap4** – od severu k jihu.



Obr. 9 Putující anticyklóna (*Ap*)

(http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_12_Typizace_situaci&nc=1&portal_lang=cs#PP_Typizace_situaci)

- ***B* – brázda nízkého tlaku nad střední Evropou**

V brázdě nízkého tlaku nad střední Evropou se udržuje zvlněné frontální rozhraní, oddělující teplý vzduch na východě a studený na západě. Dráha frontálních vln probíhá nejčastěji z Itálie přes Moravu nad Polsko.

- ***Bp* – brázda postupující přes střední Evropu**

Situace se od předchozí liší v tom, že brázda není kvazistacionární, ale posunuje se zvolna k východu.

- ***C* – cyklóna nad střední Evropou**

Střed cyklóny ve výšce leží nejčastěji nad západní částí střední Evropy. Frontální systémy s přízemními cyklónami postupují ze Středozemního moře nad východní část střední Evropy a zde se retrográdně stácejí k západu. Území ČR zasahují jejich srážková pásma, nikoliv ale teplé sektory.

- ***Cv* – výšková cyklóna**

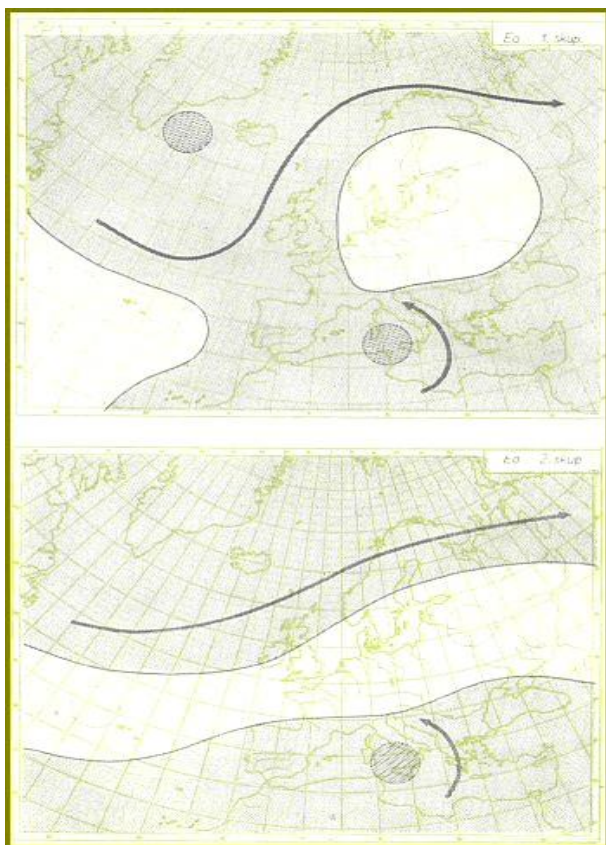
Pro situaci je rozhodující výšková cyklóna nad Střední Evropou, vyplněná studeným vzduchem. Přízemní tlakové pole není rozhodující, nejčastěji se vyskytuje hřeben vyššího tlaku vzduchu nebo okraj anticyklóny.

- ***Ec* – východní cyklonální situace**

Kolem tlakové níže nad jižní nebo jihovýchodní Evropou pronikají do střední Evropy frontální systémy od východu. Ve výšce převládá nad územím ČR teplá advekce od jihovýchodu, při zemi je častější studené severovýchodní proudění.

- ***Ea* – východní anticyklonální situace**

Střední Evropa leží na jižním okraji tlakové výše nebo zonálního hřebene ve východním proudění kontinentálního vzduchu (obr. 10).



Obr. 10 východní anticyklonální situace (*Ea*)

(http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_12_Typizace_situaci&nc=1&portal_lang=c#PP_Typizace_situaci)

- ***Nc* – severní cyklonální situace**

Řídící cyklóna je nad Finskem a Pobaltím, frontální zóna, směřující z Norského moře do střední Evropy, nebývá vždy výrazně vyvinuta, v létě někdy přecházejí od severu jen jednotlivé podružné studené fronty.

- ***NEa* – severovýchodní anticyklonální situace**

Střední Evropa je na okraji tlakové výše nad Severním mořem a Skandinávií, severovýchodní proudění přivádí na území ČR více nebo méně chladný a poměrně suchý kontinentální vzduch (obr. 11).

- ***NEc* – severovýchodní cyklonální situace**

Tlaková níže východně od území ČR přivádí studený vzduch od severu až severovýchodu, ve výšce se občas uplatňuje advekce teplého vzduchu retrográdně přetočeného přes Ukrajinu a Polsko k jihozápadu.

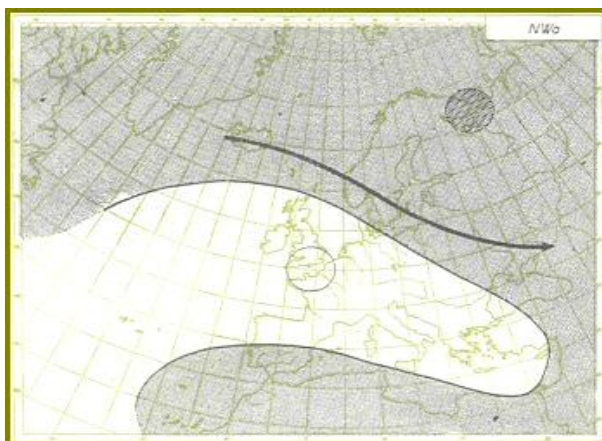
- ***NWa* – severozápadní anticyklonální situace**

Na rozdíl od následující situace *NWc* probíhá frontální zóna východněji a území ČR je převážně pod vlivem tlakové výše nad západní a částečně i střední Evropou, v převládající teplé advekci (obr. 12).



Obr. 11 Severovýchodní anticyklonální situace (*NEa*)

(http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_12_Typizace_situaci&nc=1&portal_lang=cs#PP_Typizace_situaci)



Obr. 12 severozápadní anticyklonální situace (*NWa*)

(http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_12_Typizace_situaci&nc=1&portal_lang=cs#PP_Typizace_situaci)_Typizace

- ***NWc* – severozápadní cyklonální situace**

Frontální zóna probíhá z Atlantiku přes Severní moře a Polsko k jihovýchodu. V severozápadním proudění zpravidla rychle postupující fronty (teplé, studené, podružné studené, okluzní) zasahují aktivně i území ČR.

- ***Sa* – jižní anticyklonální situace**

Tlaková výše se nachází nad východní Evropou, po jejím okraji proudí ze Středomoří do střední Evropy teplý vzduch (obr. 13).

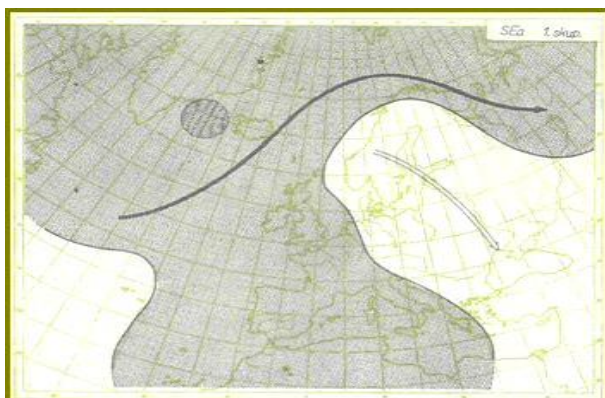
- ***SEa* – jihovýchodní anticyklonální situace**

Tlaková výše se nachází nad východní Evropou, po jejím okraji proudí přes Balkán do střední Evropy kontinentální vzduch (obr. 14).



Obr. 13 jižní anticyklonální situace (*Sa*)

(http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_12_Typizace_situaci&nc=1&portal_lang=cs#PP_Typizace_siTuaci)



Obr. 14 jihovýchodní anticyklonální situace (*SEa*)

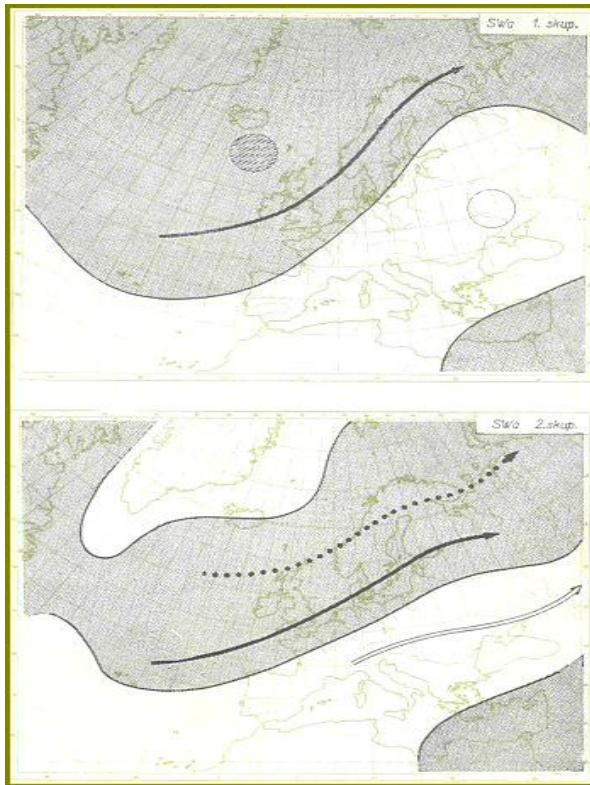
(http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_12_Typizace_situaci&nc=1&portal_lang=cs#PP_Typizace_situaci)

- ***SEc* – jihovýchodní cyklonální situace**

Řídící cyklóna se nachází nad západní částí Středoziemního moře, frontální systémy postupují přes Balkán a Jaderské moře do střední Evropy.

- ***SWa* – jihozápadní anticyklonální situace**

Tlaková výše se rozprostírá nad jižní polovinou střední Evropy, Karpatami a Ukrajinou, frontální zóna směřuje přes Britské ostrovy nad Skandinávii. Do střední Evropy proudí teplý vzduch z oblasti Španělska a západního Středomoří (obr. 15).



Obr. 15 jihozápadní anticyklonální situace (SWa)

(http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_12_Typizace_situaci&nc=1&portal_lang=cs#PP_Typizace_situaci)

- **SWc1 – jihozápadní cyklonální situace č. 1**

Řídící tlaková níže se udržuje nad západní Evropou, frontální systémy postupují přes Pyrenejský poloostrov, Alpy a území ČR k severovýchodu až severu. Nad východní Evropou se udržuje blokující anticyklóna.

- **SWc2 – jihozápadní cyklonální situace č. 2**

Frontální zóna probíhá z Atlantiku přes Francii k severovýchodu nad Baltské moře, fronty zasahují i území ČR. Zde převládá advekce teplého maritimního vzduchu, v závěru situace proniká zpravidla chladný vzduch od severozápadu.

- **SWc3 – jihozápadní cyklonální situace č. 3**

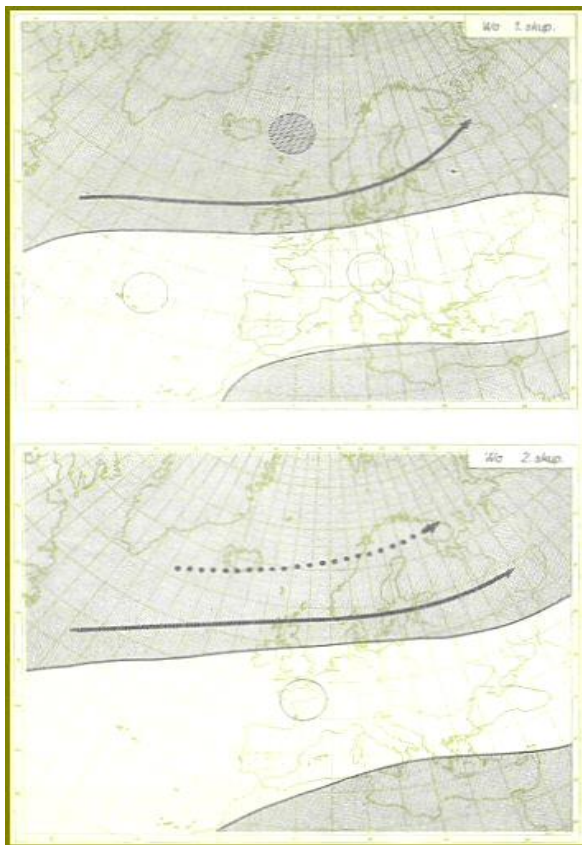
Frontální zóna leží jižněji než u SWc2, probíhá přes Pyreneje, Alpy a střední Evropu k severovýchodu. Fronty, resp. frontální vlny se tudíž projevují na území ČR aktivněji a chladný vzduch častěji.

- **Vfz – vchod frontální zóny**

Situace je tvořena barickým sedlem nad střední Evropou a jím procházejícími frontálními poruchami z oblasti cyklóny na západě do oblasti cirkulace cyklóny na východě. Přes území ČR přecházejí poruchy od západu až k severozápadu.

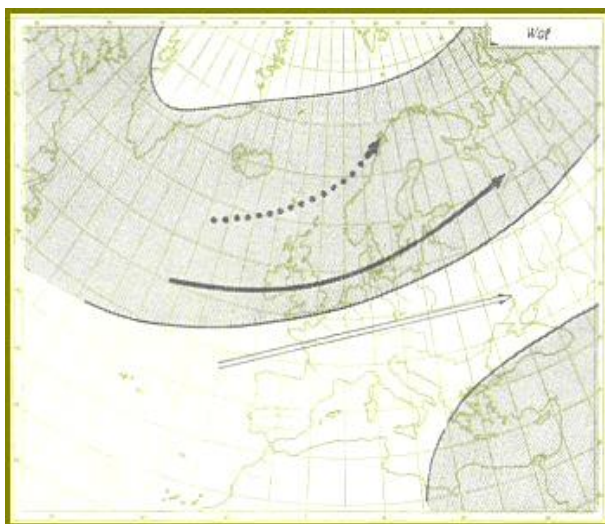
- **Wa – západní anticyklonální situace**

Frontální zóna, probíhající od západu na východ, leží severně od území ČR; zde se uplatňuje vliv okraje tlakové výše nebo zonálního hřebene s osou mezi 45° - 50° s.š.; převládá teplá advekce od západu (obr. 16).



Obr. 16 západní anticyklonální situace (Wa)

(http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_12_Typizace_situaci&nc=1&portal_lang=cs#PP_Typizace_situaci)



Obr. 17 západní anticyklonální situace letního typu (Wal)

(http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_12_Typizace_situaci&nc=1&portal_lang=cs#PP_Typizace_situaci)

- **Wal – západní anticyklonální situace letního typu**

Ve výškovém západním až jihozápadním proudění přecházejí přes střední Evropu jádra oddělená od Azorské anticyklóny a v mělkých brázdách mezi nimi studené, resp. zvlněné studené fronty (obr. 17).

- **Wc – západní cyklonální situace**

Frontální zóna probíhá z Atlantiku přes Britské ostrovy k východu nad Pobaltí, přitom fronty zasahují aktivně i území ČR a střídají se zde teplé a studené maritimní vzduchové hmoty.

- **Wcs – západní cyklonální situace s jižní dráhou**

Frontální zóna probíhá z Atlantiku přes Francii, Bavorsko, ČR a Slovensko k východu; území ČR zasahují většinou okluzní fronty nebo jižně procházející vlny, takže převážně zůstává v chladném vzduchu a jen zřídka se dostává do teplého sektoru (Křivancová et Vavruška, 1997).

3.7 Situace ovlivňující znečištění ovzduší

Typ povětrnostní situace je základním faktorem ovlivňujícím celou skupinu meteorologických prvků, které determinují rychlost disperze znečištění. Výsledky výzkumů z Evropy potvrzují skutečnost, že nejhorší aerosanitní podmínky se vytváří v anticyklonálních situacích s advekcí kontinentálního vzduchu (Knozová, 2005).

Anticyklonální typy počasí jsou charakteristické sestupnými pohyby, které udržují znečišťující příměsi v blízkosti zemského povrchu. Vlivem sestupných proudů dochází k sesedání vzduchu, což často vede ke vzniku teplotních inverzí, které významně potlačují rozptyl znečišťujících látek (Bednář, 2003).

Největší koncentrace prašného aerosolu PM₁₀ se na území ČR, téměř na všech pozorovacích stanicích, vyskytovaly při jihovýchodní anticyklonální *SEa* (obr. 14) situaci. Jako povětrnostní situace způsobující koncentraci PM₁₀ byly hodnoceny typy anticyklonální s advekcí vzdušných mas z východu a jihovýchodu, dále typy anticyklonální s advekcí ze severovýchodu a z jihu, a také centrum anticyklóny. V takovýchto situacích se na území České republiky dostává kontinentální vzduch, který přináší suspendovaný prach. Na velikost znečištění oxidem siřičitým působí advekce vzdušných mas z východu a z jihovýchodu a severovýchodní anticyklonální situace. Nejnižší koncentrace SO₂ byly zaznamenány při západní anticyklonální situaci letního typu. Na koncentraci NO se podařilo vytypovat jen jednu situaci, a sice centrum anticyklony (Knozová, 2005).

Výzkum prováděný v letech 1995-2005 v polském městě Sosnowiec, které se nachází v centrální části nejvíce urbanizovaného a industrializovaného kraje Katovice v Polsku, byl zaměřen na sezónní změny výskytu teplotních inverzí, které omezují rozptyl znečišťujících látek. Jejich výskyt byl pozorován za jasných zimních dnů při jižní anticyklonální situaci a jihozápadní anticyklonální situaci (Zbigniew A. Caputa et al., 2009).

Beranová a Huth (2003) zkoumali intenzitu pražského tepelného ostrova a její změny od roku 1961 v závislosti na synoptických podmínkách. Zjistili, že intenzita tepelného ostrova závisí na směru proudění daného cirkulačního typu a cyklonalitě. Největší intenzity tepelného ostrova se vyskytují právě v anticyklonálních situacích s převládajícím prouděním od severu a severovýchodu.

Vysoké hladiny látek znečišťujících ovzduší (PM_{10} , O_3 , NO_2) jsou sledovány v Portugalsku, kde byly opakovaně překročeny limity během posledního desetiletí. V Portugalsku během většiny roku převažuje anticyklonální situace s převládajícím prouděním ze severu, bylo ale prokázáno, že na koncentraci těchto tří znečišťujících látek v ovzduší má největší vliv anticyklonální situace s převládajícím prouděním z východu (Russo et al., 2004).

3.8 Teplotní inverze a znečištění vzduchu

Znečištění atmosféry je relativním a často skloňovaným pojmem ve spojení jak s klimatem měst, tak s výskytem inverzí teploty.

Koncentrace znečišťujících látek v ovzduší narůstá především na podzim a v zimě při anticyklonálních povětrnostních situacích, hlavně při situaci A – anticyklona ve střední Evropě. Proudění vzduchu při těchto situacích je velice slabé nebo žádné. V důsledku nočního vyzařování tepla ze zemského povrchu a krátkého slunečního svitu během dne se v nížinách udržuje studený vzduch, zatímco v horských oblastech je vzduch teplejší. Vzniká tzv. inverzní situace. Oblačnost, která vzniká na rozhraní mezi studenou spodní a teplejší horní vzduchovou vrstvou, působí jako zadržující vrstva a nedovoluje rozptýl znečišťujících příměsí (Seifert, 1994).

Problematika inverzí vzbudila vlnu zájmu především v době mohutné průmyslové a energetické výstavby, v období rozvoje zemědělství a neustichla dodnes. Stala se náplní nejedné odborné práce jak u nás tak i ve světě, vědečtí pracovníci se zabývali širokým spektrem témat, od vzniku inverzí, přes jejich vliv na místní klima, až po důsledky v podobě znečištěného životního prostředí.

3.8.1 Definice a dělení inverzních vrstev

Teplotní zádržná vrstva je souhrnným pojmem pro takové vrstvy v atmosféře, které tvoří překážku výstupným pohybům a vertikálnímu promíchávání vzduchu. Jedná se o vrstvy s izotermií, s růstem teploty, s výškou nebo s malým vertikálním poklesem teploty vzduchu v porovnání s níže i výše ležícími vrstvami (Sobíšek et al., 1993).

Dle Chromova (1968) můžeme pokládat pokles teploty s výškou za normální stav troposféry a inverze odchylkami od normálního stavu. Inverze teploty v troposféře jsou však časté, téměř každodenní jevy. Inverze se vyskytují v relativně tenkých vrstvách vzduchu v porovnání s celkovým vertikálním rozsahem troposféry. Jako mezní případ mezi normálním poklesem teploty s výškou a inverzí pozorujeme vertikální izotermu, při které v určité vrstvě vzduchu zůstává teplota s výškou stálá. Meteorologické příčiny vzniku teplotních inverzí, mohou být rozmanité a podrobněji se zmíníme o těch nejvýznamnějších. Inverze dle Sobiška et al. (1993) dělíme:

Dle příčin jejich vzniku:

- radiační,
- sněhové (nebo též jarní),
- advekční,
- frontální,
- subsidenční (nebo též inverze sesedáním),
- turbulentní.

Dle výšky inverzní vrstvy nad zemí:

- přízemní,
- výškové.

Dle dynamické povahy:

- statické,
- dynamické.

Inverze rozlišené podle příčin vzniku, lze charakterizovat následujícím způsobem (Sobišek et al., 1993):

- Radiační – inverze vzniká jako důsledek vyzařování tepla ze zemského povrchu, z povrchu sněhu nebo ledu, z horní vrstvy oblaků a podobně. Nejčastější jsou přízemní radiační inverze. Méně často vznikají radiační inverze při vyzařování oblačné nebo velmi vlhké, popř. znečištěné vrstvy vzduchu ve volné atmosféře, kdy se inverze vytváří nad touto vrstvou jako radiační inverze výšková.
- Sněhové (nebo též jarní) – teplotní inverze vzniká zpravidla na jaře nad tající sněhovou pokrývkou v důsledku spotřeby tepla na tání sněhu. Při silnějším větru se

v důsledku turbulence inverze tohoto typu nevyskytuje přímo u zemského povrchu, ale v určité výšce nad ním.

- Advekční – inverze tohoto typu vzniká buď působením vertikálně nerovnoměrné teploty advekce, když ve vyšších hladinách proudí do dané oblasti relativně teplejší vzduch než v hladinách nižších (inverze výškové), nebo prouděním relativně teplého vzduchu nad studený zemský povrch (inverze přízemní).
- Frontální – frontální inverze teploty je spojena s frontální plochou, nad níž je teplota vzduchu vyšší než pod ní. Nejčastěji je pozorována na teplých frontách, avšak může se vyskytnout i na ostatních druzích atmosférických front. Frontální inverze lze pozorovat v kterékoliv části troposféry.
- Subsidenční - inverze tohoto typu vzniká sesedáním, nebo-li subsidencí vzduchu z vyšších vrstev atmosféry do nižších. Vyskytuje se nad rozsáhlým územím, kde je dobře vyvinut mechanismus subsidenčních pohybů vzduchu, především v anticyklonách a v blízkosti os hřebenů vysokého tlaku vzduchu.
- Turbulentní – turbulentní inverze nebývá obvykle příliš mohutná. Výchozí situací pro vznik této inverze je stabilní teplotní zvrstvení ovzduší. Jestliže ve vrstvě vzduchu přiléhající k zemskému povrchu nastane silné turbulentní mísení, vytvoří se v této vrstvě vertikální teplotní gradient blízký adiabatickému. Přitom nad směšovací vrstvou zůstává přibližně zachován původní vertikální profil teploty vzduchu. Tím v oblasti horní hranice vrstvy směšování vznikne vrstva s inverzí teploty. Patří mezi výškové inverze.

Dle výšky inverzní vrstvy nad zemí: Inverze rozlišené podle příčin vzniku, lze charakterizovat následujícím způsobem (Sobíšek et al., 1993):

- Přízemní – jedná se o teplotní inverze v mezní vrstvě atmosféry, začínající bezprostředně od zemského povrchu. Obvykle vzniká jako důsledek nočního vyzařování aktivního povrchu. Kromě noční doby se v její vertikální mohutnosti a teplotním gradientu projevuje konfigurace reliéfu, geologické složení a charakter rostlinné nebo sněhové pokrývky zemského povrchu. V zimě, kdy je malý příkon slunečního záření na zemském povrchu, se přízemní inverze mohou vytvářet i během dne.
- Výškové – jedná se o teplotní inverze ležící v určité výšce nad zemským povrchem. Vznikají například v důsledku subsidence vzduchu v oblastech vysokého tlaku

vzduchu, advekce teplého vzduchu ve výšce či při pasátové cirkulaci a často v oblasti tropopauzy.

Dle dynamické povahy (Sobíšek et al., 1993):

- Statické – statické teplotní inverze vznikají především vyzařováním bez výraznějšího uplatnění dynamických a advekčních příčin (např. radiační inverze).
- Dynamické – dynamické teplotní inverze vznikají z dynamických a advekčních příčin (např. inverze advekční, subsidenční, frontální, turbulentní).

3.8.2 Vliv inverzních vrstev na rozptylové podmínky

Proudění v atmosféře je nejvýznamnějším činitelem ovlivňujícím přenos znečišťujících příměsí a z tohoto důvodu má diagnóza a prognóza směru i rychlosti větrupodstatný význam při sestavování rozborů a předpovědí znečištění ovzduší v uvažovaných oblastech. Protože většina antropogenních příměsí se v atmosféře nachází v mezní vrstvě, je pro jejich transport rozhodující proudění ve vrstvě sahající od zemského povrchu do výše přibližně 2 km nad ním.

Prouděním vzduchu může být do značné míry ovlivňováno i teplotní zvrstvení atmosféry a tím dochází k podstatné modifikaci podmínek působících na rozvoj turbulentní difúze a s ní spojeného promíchávání ve vzduchové hmotě. V případech, kdy relativně teplý vzduch je prouděním přiváděn nad chladný zemský povrch, nebo je-li proudící vzduch v nižších hladinách studenější než v hladinách výše položených, napomáhá existence takového proudění vzrůstu stability teplotního zvrstvení (často takto vznikají teplotní inverze advekčního původu), což omezuje vertikální mísení vzduchové hmoty, a tím se zmenšuje intenzita prostorového rozptylu znečišťujících příměsí. V zimním období je v tomto směru typické zejména proudění z jihovýchodu. Proudění jižních směrů bývá zpravidla spojeno s teplou advekcí nad relativně studeným zemským povrchem, zatímco východní proudění v zimě obvykle přivádí silně stabilně zvrstvenou vzduchovou hmotu. Naproti tomu proudění ze severozápadu obzoru bývá spojeno s advekcí instabilnější vzduchové hmoty a usnadňuje tím prostorový rozptyl příměsí.

Přízemní inverze brání vertikálnímu mísení ve vrstvě vzduchu bezprostředně přiléhající k zemskému povrchu. Následkem toho se nečistoty pocházející z přízemních zdrojů hromadí u země, kde potom dochází ke vzniku vysokých koncentrací škodlivin. Na druhé straně tento typ teplotních inverzí výrazně zmenšuje přízemní koncentrace příměsí v okolí tzv. výškových zdrojů (např. komíny tepelných elektráren a některých závodů, jejichž

efektivní výška dosahuje několika stovek metrů). Tyto zdroje se obvykle nalézají už nad horní hranicí přízemních teplotních inverzí a jejich kouřové vlečky se rozptylují v prostoru nad inverzí, zatímco rozptyl znečištění směrem dolů je potlačován silnou stabilitou v inverzní vrstvě. Jestliže v tomto případě existuje nad inverzí silnější horizontální proudění, mohou být splněny podmínky pro dálkový přenos nečistot a znečišťující příměsi pocházející z výškových zdrojů potom pronikají do značně vzdálených oblastí.

V případě výskytu výškových teplotních inverzí je pro rozptyl znečištění velmi důležitá výška jejich dolní hranice nad zemským povrchem. Zvláště nebezpečné bývají inverze, jejichž dolní hranice leží v relativně nevelké výši (stovky metrů), v těchto se znečištění jak z přízemních, tak z většiny výškových zdrojů hromadí pod inverzní vrstvou vzduchu a rozptyl nečistot do vyšších hladin ovzduší je omezen (Bednář, 1985).

Pro čistotu ovzduší jsou pro příznivé takové podmínky, které zabezpečují dostatečnou intenzitu prostorového rozptylu emisí a zabraňují tak vzniku vysokých koncentrací škodlivin v blízkosti jejich zdrojů. Příznivost těchto podmínek je diskutabilní, jelikož zvýšení intenzity prostorového rozptylu příměsí se projevuje větším rozsahem zasaženého území, a proto zhruba platí, že situace příznivé pro bezprostřední okolí zdrojů bývají méně příznivé pro vzdálenější oblasti.

3.8.3 Vybrané havarijní situace v důsledku inverzních vrstev

3.8.3.1 Donora

Jedna z největších environmentálních tragédií v americké historii se odehrála v jihozápadní Pensylvánii na podzim roku 1948. Donora, malé průmyslové město ležící jižně od Pittsburghu, se během pěti říjnových dnů proměnila v místo, kde kvůli těžce znečištěnému ovzduší přišlo o život 20 lidí a tisíce dalších vykazovali příznaky onemocnění (Hess, 1995).

Donora se rozprostírá v údolí, na západním břehu meandrující řeky Monongahela a je obklopena kopci. V bezprostřední blízkosti města se nachází velká ocelárna a zinkovna, které již ve 20. letech 20. století byly hlavní příčinou průmyslového znečištění (Peterman, 2009).

Zlomový moment nastal 26. října 1948, kdy stabilní atmosférické podmínky spolu s hustou mlhou přispěly k rozvoji dlouhotrvající teplotní inverze nad severovýchodem USA (Obroučka, 2001). Masa studenějšího vzduchu z hor obklopujících Donoru vytvořila inverzní vrstvu a znemožnila teplejšímu vzduchu stoupat dále do atmosféry. Emise z továren se tak ochladily a neschopny rozptylu se v toxických koncentracích usadily v údolí (Davis, 2002).

3.8.3.2 Údolí řeky Maasy

Začátkem prosince v roce 1930 byla celá Belgie přikryta hustou mlhou, zvláště výrazná situace byla v údolí řek. Údolí řeky Maasy bylo postiženo tepelnou inverzí. Podél údolí, které ohraničují z obou stran kopce dosahující výšky asi až 100 m nad hladinou řeky, sídlilo mnoho závodů těžkého průmyslu. Začátkem třetího dne trvání inverze začali lidé v této oblasti trpět onemocněním dýchacích cest a asi 60 z nich zemřelo. Ukázalo se, že aerosoly v té době považované za fyziologicky inertní mohly hrát úlohu při vzniku uvedeného onemocnění.

Úloha povětrnostních podmínek byla v této události oceněna jako rozhodující, protože inverzní situace umožnila nahromadění emisí, vypouštěných do ovzduší údolí průmyslovými závody normálně, do toxických koncentrací. Pečlivý přehled počasí v letech předcházejících těmto událostem ukázal, že tato místa měla podobné povětrnostní abnormality již dříve, ale měly většinou kratší trvání a nebyly spojeny s tak závažnými zdravotními důsledky (Symon et Bencko, 1988).

3.8.3.3 Velký londýnský smog

Londýn byl nechvalně známý svými výkyvy počasí již od středověku. Po staletí se vyznačoval nepříznivými atmosférickými podmínkami a častým výskytem mlh. Město též disponovalo největší koncentrací uhelných kamen na světě, lidé běžně používali uhlí k vytápění svých domovů (Davis, 2002).

Termín smog vznikl spojením anglických slov smoke (kouř) a fog (mlha). Poprvé jej použil londýnský lékař Harold Des Voeux, aby popsal produkt znečištění antropogenního charakteru a meteorologického jevu (Laskin, 2006).

Londýn sužovaly smogové situace (obr. 18) už od 12. století, ale ta největší se odehrála v období od 5. - 9. prosince 1952, jež v literatuře bývá označována jako Velký londýnský smog. Teploty ve zmíněném období v jižní Anglii byly nezvykle nízké, pohybující se kolem bodu mrazu, což přimělo populaci více topit. Oblast vysokého tlaku vzduchu nad údolím Temže a skoro úplné bezvětří vyvolaly rozsáhlou teplotní inverzi. Kombinace emisí ze spalování nadměrného množství uhlí a husté, dlouhotrvající mlhy dala vzniknout smogu, jenž se rozšířil především v centru Londýna (Livingstone, 2002). Koncentrace jak oxidů síry, tak prašného aerosolu se během události vyšplhaly až na desetkrát vyšší hodnoty v porovnání s obvyklou hladinou, přičemž atmosférické podmínky se nevrátily do normálu ještě po následující tři měsíce.

Nejvyšší úmrtnost byla zaznamenána 8. a 9. prosince, a to 900 případů denně (Laskin, 2006). Mortalita zůstala zvýšená až do března 1953, v lednu a únoru bylo evidováno přibližně o 50 % více úmrtí, než by se předpokládalo. Celkový počet zemřelých od prosince 1952 do března 1953 byl tak asi o 13 000 vyšší než historický průměr (Davis, 2002).



Obr. 18 Velký Londýnský smog

(<http://www.pri.org/stories/2012-12-05/londons-great-smog-1952>)

3.8.3.4 Fotochemický smog v Los Angeles

Jižní Kalifornie byla sužována smogem dávno před druhou světovou válkou, v létě roku 1943 se však v Los Angeles odehrála první vážná smogová událost, doprovázená sníženou dohledností a nepříznivými dopady na lidské zdraví, jež zahájila dlouhodobý boj proti chronickému problému znečištěného ovzduší v Los Angeles (Carle, 2006).

V důsledku nepřilíš rozvinuté veřejné dopravy byli obyvatelé Kalifornie zcela závislí na automobilové dopravě, do roku 1955 žilo v Los Angeles a okolí 5 milionů lidí a téměř polovina z nich vlastnila auto. Každý den se tedy do ovzduší uvolňovalo 3000 t polutantů. Důležitou roli ve vývoji znečištěného ovzduší hrála i geografická poloha Los Angeles- pánev při Tichém oceánu, obklopena kopcovitým terénem, představuje za letních měsíců během období stagnujícího vysokého tlaku vzduchu ideální místo pro vznik inverzí (Davis, 2002).

Předcházející zdravotnické výzkumy v Los Angeles ukázaly, že během období smogu je velký počet stížností na dráždění očí, často také na dráždění nosu a hrdla. Příznaky zmizely, když znečištění ovzduší pominulo, a zdá se, že nezanechaly žádné subjektivní ani objektivní následky (Symon et Bencko, 1988).

Problematika fotochemického smogu v Los Angeles (obr. 19) je značně komplexní. Ačkoli se Kalifornie stala průkopníkem v boji proti znečištění ovzduší na mnoha frontách

a během posledních desetiletí skutečně došlo k výraznému poklesu emisí, studie prokazuje, že LA stále zůstává v rámci Spojených států na prvním místě ve znečištění troposférickým ozonem, na čtvrtém místě potom ve znečištění prašným aerosolem (Gorman, 2013).

4 Závěr

Předkládaná bakalářská práce se zabývá problematikou týkající se vlivu atmosférického prostředí na znečištění ovzduší a lidský organismus ve městech. Na základě získaných informací z dostupných literárních zdrojů je patrné, že se jedná o aktuální problematiku jak na národní a evropské, tak celosvětové úrovni.

Četné studie týkající se tohoto tématu dokazují, že k znečištění ovzduší měst dochází vlivem antropogenní činnosti a povětrnostních podmínek. Antropogenní činnost zahrnuje vypouštění znečišťujících látek z různých zdrojů (např. doprava, spalování, průmyslová výroba, a další).

Znečišťující látky jsou po vypuštění ze zdroje přenášeny v atmosféře a mohou tak ovlivňovat kvalitu ovzduší jak v nejbližším okolí samotného zdroje znečištění, tak ve vzdálenějších oblastech, to je však ovlivněno typem povětrnostní situace. Za nejméně příznivé povětrnostní situace jsou označovány dlouhotrvající anticyklony, během kterých dochází pouze k slabé výměně vzduchu a atmosféra bývá stabilně zvrstvena. Právě stabilní zvrstvení atmosféry vede ke vzniku inverzí, které potlačují prostorový rozptyl znečišťujících příměsí ve vzduchu, což má nepříznivý vliv na lidské zdraví. V současné době je rozlišováno 10 typů anticyklón: anticyklóna nad střední Evropou, putující anticyklóna, západní anticyklonální situace, západní anticyklonální situace letního typu, severozápadní anticyklonální situace, severovýchodní anticyklonální situace, východní anticyklonální situace, jižní anticyklonální situace, jihovýchodní anticyklonální situace a jihozápadní anticyklonální situace

Znečištění ovzduší jako sociální problém se poprvé projevil v době, kdy se jako zdroj tepla začalo používat spalování uhlí. Již z 18. a 19. stol. jsou z Anglie a Německa známy škody na vegetaci způsobené znečištěním ovzduší, avšak na konci 19. stol. byla před nekontrolovaným znečišťováním ovzduší zavedena jistá opatření. V ČR dílčí administrativní opatření na ochranu čistoty ovzduší byla přijata před první světovou válkou.

V současné době působí dvě světové organizace, které se problematikou ovzduší zabývají. Jednou z nich je Světová meteorologická organizace (WMO), která monitoruje kvalitu ovzduší, zpracovává analýzy o stavu ovzduší, publikuje zprávy a mapy. Druhá organizace je Světová zdravotnická organizace (WHO), která pod záštitou OSN zkoumá vliv znečištěného ovzduší na lidské zdraví. Díky jejich působení a novým poznatkům se lze v budoucnu vyvarovat různým katastrofám.

5 Seznam literatury

- Anonymus. Ochrana ovzduší. [online]. 2014. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z< <http://www.mzp.cz/cz/ovzdusi>>.
- Anonymus. Historie znečištění a ochrany ovzduší. [online]. 2014. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z<<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/ruzne/vystava/CISTOTA/1.pdf>>.
- Anonymus. Informace o vyhodnocení výsledků imisního monitoringu v roce 2012. [online]. 2012. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z<[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zprava_o_kvalite_ovzdusi/\\$FILE/000-informace_imisni_monitoring_2012_final-20140131.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zprava_o_kvalite_ovzdusi/$FILE/000-informace_imisni_monitoring_2012_final-20140131.pdf)>.
- Anonymus. Odhad zdravotních rizik ze znečištění ovzduší Česká republika - rok 2012. [online]. 2012. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z<http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty_zdravi/rizika_CRI_2012.pdf>.
- Anonymus. Stručná charakteristika, přehled hlavních emisních zdrojů a hlavních dopadů látek znečišťujících ovzduší. [online]. 2013. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/tab/tabI5_CZ.html>.
- Anonymus. Ozónová díra se letos nezvětšila. [online]. 2014. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z<<http://www.meteocentrum.cz/zpravy/page.php?page=14112802>>.
- Anonymus. Fotochemický smog. [online]. 2012. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z<<http://www.enviweb.cz/eslovník/96>>.
- Anonymus. Imisní limity podle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb. a vyhlášky o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích 330/2012 Sb. [online]. 2012. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity_CZ.html>.
- Anonymus. Denní průměry celkového ozonu. [online]. 2015. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z<<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ozon/o3uvb.html>>.
- Ayres, J. G., Maynard, R., Richards, R. 2006. Air Pollution and Health. Imperial College Press. 248 p. ISBN: 1860941915, 9781860941917.
- Caputa, A., Z., Leśniok, R., M., Niedźwiedz, T. 2009. The influence of atmospheric circulation and cloudiness on the intensity of temperature inversions in Sosnowiec. 14 p.
- Carle, D. 2006. Introduction to Air in California. University of California Press. Berkeley. 273 p. ISBN: 9780520247482.

- Červený et al., 1984. Podnebí a vodní režim ČSSR. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 416 p. ISBN: 0709884.
- Bednář, J., Zikmund, O. 1985. Fyzika mezní vrstvy atmosféry. Academia. Praha. 248 p. ISBN: 2107085.
- Bednář, J. 2003. Meteorologie: úvod do studia dějů v zemské atmosféře. Portál, s.r.o. Praha. 224 p. ISBN: 8071786535.
- Beranová, R., Huth, R. 2003. Pražský tepelný ostrov za různých synoptických podmínek. Český hydrometeorologický ústav. Meteorologické zprávy. 56. 137-142 p.
- Braniš, M., Hůnová, I. et al. 2009. Atmosféra a klimatologie. Karolinum. Praha. 351 s. ISBN: 9788024615981.
- Brunekreef, B., Holgate, S. T. 2002. Air pollution and health. The Lancet. 1233-1242 p.
- Dirner, V. 1997. Ochrana životního prostředí. Ministerstvo životního prostředí. VŠB – TŮ Ostrava. 333 p. ISBN: 8070784903.
- Davis, D. 2002. When Smoke Ran Like Water: Tales Of Environmental Deception And The Battle Against Pollution. Basic books. New York. 316 p.
- Forman, J. 2011. Znečištění ovzduší přízemním ozonem v městě Brně. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně. Přírodovědecká fakulta. 88 p.
- Gorman, S. Los Angeles retains notorious rankings for worst smog, traffic. [online]. Duben 2013. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z <<http://www.reuters.com/article/2013/04/25/us-usa-losangeles-life-idUSBRE93O00S20130425>>.
- Hess, D. Historic marker commemorates donora smog tragedy. Department of Environmental Protection. [online]. 2007. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <<http://www.donora.fire-dept.net/1948smog.htm>>.
- Chromov, S. P. 1968. Meteorológia a klimatológia. Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied. Bratislava. 456 p. ISBN: 7105668.
- Kaličinská, J. 2006. Monitorování životního prostředí. Pavel Klouda. Ostrava. 88 p. ISBN: 8086369137.
- Knozová, G. 2005. Vliv povětrnostních situací na velikost znečištění ovzduší v České republice. Český hydrometeorologický ústav. Brno. 8 p. ISBN: 80866903108.
- Křivancová, S., Vavruška, F. 1997. Základní meteorologické prvky v jednotlivých povětrnostních situacích na území České republiky v období 1961-1990. Národní klimatický program ČR - svazek 27. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 114 p. ISBN: 8085813521.

- Kurfürst, J. 1982. Zdroje znečištění ovzduší. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství ČSR ve Státním zemědělském nakladatelství. Praha. 153 p. ISBN: 0700982.
- Laskin, D. The great London smog. Weatherwise [online]. Srpen 2010. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3200/WEWI.59.6.42-45#.VSmcUYusVrY>>.
- Livingstone, K. 2002. 50 years on: The struggle for air quality in London since the great smog of December 1952. Greater London Authority. London. 33 p. ISBN: 1852614285.
- Matoušek, J. 1987. Počasí, podnebí a člověk. Avicenum. Praha. 296 p. ISBN:0805888.
- Matoušek, J., Květoň, V. 1977. Medicínsko – meteorologická předpověď a možnosti uplatnění v lázeňské léčbě. Výzkumný ústav balneologický. Mariánské Lázně. 194 p.
- Moldan, B. 1992. Atmosférická depozice na území Československa v letech 1976-1987. Národní klimatický program ČSFR – svazek 4. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 46 p. ISBN: 8090126227.
- Munzar, J. 1989. Malý průvodce meteorologií. Mladá fronta. Praha. 248 p. ISBN: 2301189
- Mühlendahl, K. E., Otto, M. Ozon. [online]. 2013. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z<<http://www.allum.cz/ozon>>.
- Ostatnická, J., et al. 2014. Znečištění ovzduší na území České republiky. Český hydrometeorologický ústav. Praha. ISBN: 9788087577370.
- Obroučka, K. 2001. Látky znečišťující ovzduší. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství. 73 p. ISBN: 802480011.
- Peterman, E. A Cloud With a Silver Lining: The Killer Smog in Donora, 1948. [online]. 2009. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z<<http://pabook.libraries.psu.edu/palitmap/DonoraSmog.html>>.
- Racko, S. 2011. Vzduch v pohybe. Geofyzikálny ústav SAV. Bratislava. 124 p. ISBN: 9788085754230.
- Russo, A., Trigo, R. M., Martins, H., Mendes, M. T. 2004. NO₂, PM₁₀ and O₃ urban concentrations and its association with circulation weather types in Portugal. Atmospheric Environment. 768 785.
- Roth, G., D. 2000. Malá encyklopedie počasí. Euromedia Group k. s. Praha. 296 p. ISBN: 802420228.
- Seifert, V. 1994. Počasí kolem nás. Grada. Praha. 144 p. ISBN: 8071690538.
- Sobíšek, B., et al. 1993. Meteorologický slovník výkladový & terminologický. Ministerstvo životního prostředí České republiky. Praha. 594 p. ISBN: 8085368455.

- Stehlík, J. 2002. Objektivní klasifikace cirkulačních typů pro území České republiky. Meteorologické zprávy 55. 40-49.
- Symon, K., Bencko, V. 1988. Avicenum. Praha. 250 p. ISBN: 0807988.
- Vaněk V., Voženílková J., Tlustoš P., (ed.). 2007. Člověk a zahrada. ČZU v Praze. 321 p. ISBN: 978802131646
- Vanos, J. K., Cakmak, S., Bristow, C., Brion, V., Tremblay, N., Martin, S. L., Sheridan, S. S. 2013. Synoptic weather typing applied to air pollution mortality among the elderly in 10 Canadian cities. Environmental Research. 66-75.
- Vlčková, R. Imisní monitoring ve světě. Ecmost [online]. Květen 2013. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z <http://www.ecmost.cz/img/clanky/imise_svet/im_sv.pdf>.
- Závodský, D., Závodská, E. 1992. Kvalita ovzdušia a zmeny klímy. Národný klimatický program ČSFR – svazek 7. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 88 p. ISBN: 8090126278.
- Zverev, A., S. 1986. Synoptická meteorológia. Alfa. Bratislava. 712 p. ISBN: 6357486.