

Kvalita ovzduší

prof. RNDr. Petr Pišoft, Ph.D.

Katedra agroekologie a rostlinné produkce,
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Česká zemědělská univerzita v Praze

Katedra fyziky atmosféry
Matematicko-fyzikální fakulta
Univerzita Karlova

1

Smog

- chemické znečištění atmosféry, které je způsobené lidskou činností - jev, během kterého je atmosféra obohacena o složky, které v ní normálně nejsou a které jsou škodlivé pro zdraví
- z anglického spojení dvou slov smoke (kouř) a fog (mlha)
- odborného hlediska se smog rozlišuje na dva typy - **redukční smog** (též klasický, londýnský nebo zimní) a **fotochemický** (oxidační, kalifornský, losangelský či letní)

TED - The science of smog

- <https://youtu.be/CdbBwlgq4rs>



2

Smog

- základní rozdíly mezi klasickým a fotochemickým smogem**
- detaily dále** v tématu zimního smogu, pevných částic a stability atmosféry a rovněž v tématu letního smogu, přízemního ozonu a oxidu dusíku

	Smog klasický	Smog fotochemický
Základní související sloučeniny	PM částice, SO _x	O ₃ prekurzory ozonu - NO _x , HCs, CO, volné radikály
Základní zdroje	spalování fosilních paliv	automobilová doprava
Období výskytu maxima intensity	zimní měsíce, časně ráno, nízké teploty	letní měsíce, okolo poledne, vysoké teploty
Podmínky v atmosféře	špatné rozptylové podmínky, vysoká stabilita atmosféry	intenzivní sluneční záření, vysoké teploty, jasno

3

Smogový varovný a regulační systém

- ČHMÚ provozuje na základě pověření Ministerstvem životního prostředí **Smogový varovný a regulační systém** (SVRS)
- slouží **k informaci** o výskytu situace se zvýšenými koncentracemi znečišťujících látek v ovzduší a **k regulaci** vypouštění znečišťujících látek ze zdrojů
- mezi **sledované látky** patří zejména **suspendované částice PM₁₀** a dále **oxid siřičitý SO₂**, **oxid dusičitý NO₂** a **troposférický ozon O₃**
- stanovena **informativní prahová hodnota**, při jejímž překročení je vyhlášována smogová situace a dále **regulační prahová hodnota**, po jejímž překročení se přistupuje k regulaci vybraných zdrojů znečišťování



4

Smog

- ČHMÚ provozuje na základě pověření Ministerstvem životního prostředí **Smogový varovný a regulační systém** (SVRS) - viz pravidla na http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/smog/SVRS_pravidla-fungovani.pdf

Tab. VI.1 Pravidla pro vyhlášení a odvolání smogových situací a regulací (varování)

Prahová hodnota						Délka překročení		Počet stanic	Doplňující podmínka
	PM ₁₀	NO ₂	SO ₂	O ₃	Interval				
Vyhlášení smogové situace									
PM ₁₀	IPH	100	24 h	2 dny (t; 25 h)	1 stanice	Rostoucí trend klouzavých 12hodinových průměrů PM ₁₀ alespoň na polovině stanic během posledních 6 hodin.			
NO ₂		200	1 h	3 h		—			
SO ₂		250		3 h		—			
O ₃		180		1 h		—			
Vyhlášení regulace (varování)									
PM ₁₀	RPH	150	24 h	3 dny (t; 49 h)	50 %	Rostoucí trend klouzavých 12hodinových průměrů PM ₁₀ alespoň na polovině stanic během posledních 6 hodin.			
NO ₂		400	1 h	3 h		—			
SO ₂		500		3 h		—			
O ₃	VPH	240		1 h		1 stanice	—		
Odvolání									
Regulace (varování) resp. smogová situace se odvolá, pokud na žádné měřící stanici reprezentativní pro úroveň znečištění v dané oblasti není překročena příslušná prahová hodnota, přičemž tento stav trvá nepřetržitě alespoň 12 hodin (tedy pro PM ₁₀ je klouzavá 24h průměrná koncentrace nižší než příslušná prahová hodnota alespoň ve dvaceti po sobě následujících hodinách) a na základě meteorologické předpovědi není očekáváno obnovení meteorologických podmínek podmiňujících smogovou situaci v průběhu 48 hodin následujících po pokusu ústupu znečištění pod prahové hodnoty.									
Časový interval 12 hodin se zkracuje až na 3 hodiny v případě, že meteorologické podmínky nelze označit jako podmiňující smogovou situaci a podle meteorologické předpovědi je téměř vyloučeno, že v průběhu nejbližších 48 hodin takové podmínky opět nastanou.									

Regulace (varování) resp. smogová situace se odvolá, pokud na žádné měřicí stanici reprezentativní pro úroveň znečištění v daném období není překročena příslušná prahová hodnota, přičemž tento stav trvá nepřetržitě alespoň 12 hodin (tedy pro PM₁₀ je klouzavá 24h průměrná koncentrace nižší než příslušná prahová hodnota alespoň ve dvanácti po sobě následujících hodinách) a na základě meteorologické předpovědi není očekáváno obnovení meteorologických podmínek podmiňujících smogovou situaci v průběhu 48 hodin následujících po poklesu úrovně znečištění pod prahové hodnoty.
Časový interval 12 hodin se zkracuje až na 3 hodiny v případě, že meteorologické podmínky nelze označit jako podmiňující smogovou situaci a podle meteorologické předpovědi je téměř vyloučeno, že v průběhu nejbližších 48 hodin takové podmínky opět nastanou.

Pozn.: IPH označuje informativní, RPH regulační a VPH varovnou prahovou hodnotu. Požadavky na počty stanic se vztahují na reprezentativní stanice pro danou oblast SVRS.

Zdroj: <http://chmi.cz>

© 2014 COPYRIGHT CHMI, ALL RIGHTS RESERVED



5

Zimní smog

- redukční smog** - především v zimních měsících, s výskytem mlhy a teplotní inverzí
- výskyt - tam, kde dochází k intenzivnímu spalování fosilních paliv, především uhlí - ve vzduchu velké množství oxidů síry, uhlíku a prachu.
- směs městského a průmyslového kouře s mlhou**, složení převážně z oxidů siřičitého a dalších látek snadno podléhající oxidaci
- příklad role atmosféry
- otázka atmosférických procesů**
- podmíněn nízkou intenzitou rozptýlu při situaci, kdy se emitované znečišťující látky mohou po delší dobu koncentrovat pod inverzní vrstvou



6

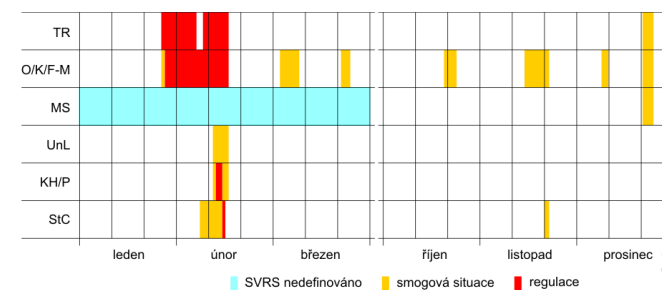
Zimní smog

- redukční smog**
- kombinace specifických meteorologických podmínek a zvýšené koncentrace znečišťujících látek
- mlha, teplotní inverze, špatné rozptylové pomínky
- zvýšené koncentrace PM částic, CO a SO₂** - zejména spalování fosilních paliv
- automobilová doprava, průmyslová výroba, lokální vytápění
- ve větších městech, kde proběhla modernizace vytápění, zaznamenán pokles
- otázka plynofikace** a spalovacích technologií (ostravská raketa)
- otázka polohy (údolí)



7

Zimní smogové situace v roce 2012



TR – Třinecko
O/K/F-M – aglomerace Ostrava/Karviná/Frydek-Místek bez Třinecka
MS – zóna Moravskoslezsko
UnL – Ústecký kraj
KH/P – Královéhradecký a Pardubický kraj (období říjen-prosinec dle nové legislativy);
Pardubický kraj (období leden-březen dle staré legislativy)
StC – zóna Střední Čechy

Obr. II.5.1 PM₁₀ – celkový přehled vyhlášených smogových situací a regulací v roce 2012 Zdroj: <http://chmi.cz>

8

Zimní smogové situace v roce 2012

- výčet a popis situací na <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr12cz/tab/t251.html>

Tab. II.5.1 Počet a trvání smogových situací a regulací z důvodu vysokých koncentrací PM₁₀

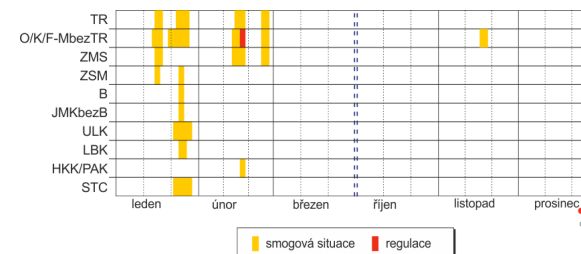
Oblast SVRS	Počet vyhlášení		Délka trvání	
	Smogová situace	Regulace	Smogová situace	Regulace
Středočeský kraj	3	1	256	2
Královéhradecký a Pardubický kraj	1	1	95	38
Ústecký kraj	1	–	100	–
Zóna Moravskoslezsko	1	–	39	–
Aglomerace Ostrava/Karviná/Frydek-Místek bez Třinecka	7	1	985	467
Třinecko	3	2	450	398
Celkem	16	5	1924	905

Zahrnuty jsou pouze oblasti SVRS, ve kterých došlo k vyhlášení alespoň jedné smogové situace. Trvání smogové situace v sobě zahrnuje i trvání regulace, pokud byla vyhlášena. Signály upozornění dle starého zákona jsou zahrnuty do smogových situací dle nového zákona.

Zdroj: <http://chmi.cz>

9

Zimní smogové situace v roce 2013



TR ... Třinecko
O/K/F-MbezTR ... Aglomerace Ostrava/Karviná/Frydek-Místek bez Třinecka
ZMS ... Zóna Moravskoslezsko
ZSM ... Zóna Střední Morava
B ... Aglomerace Brno
JMKbezB ... Jihomoravský kraj bez aglomerace Brno
ULK ... Ústecký kraj
LBK ... Liberecký kraj
HKK/PAK ... Královéhradecký kraj a Pardubický kraj
STC ... Zóna Střední Čechy

Obr. VI.3 Smogové situace a regulace PM₁₀ v roce 2013 v oblastech SVRS, ve kterých byla vyhlášena alespoň jedna smogová situace

Zdroj: <http://chmi.cz>

10

Zimní smogové situace v roce 2013

- výčet a popis situací na http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/tab/tabVI3_CZ.html

Tab. VI.2 Smogové situace a regulace pro PM₁₀ v roce 2013 – počet a délka

Oblast SVRS	Počet vyhlášení		Délka trvání [h]	
	Smogová situace	Regulace	Smogová situace	Regulace
Aglomerace O/K/F-M bez Třinecka	5	1	425	33
Třinecko	4	0	275	0
Zóna Moravskoslezsko	3	0	193	0
Zóna Střední Morava	2	0	59	0
Jihomoravský kraj bez aglomerace Brno	1	0	27	0
Aglomerace Brno	1	0	27	0
Zóna Střední Čechy	1	0	97	0
Ústecký kraj	1	0	163	0
Liberecký kraj	1	0	48	0
Královéhradecký kraj a Pardubický kraj n	1	0	35	0
Česká republika celkem	20	1	1349	33

Pozn.: Zahrnuty jsou pouze oblasti SVRS, ve kterých došlo k vyhlášení alespoň jedné smogové situace. Trvání smogové situace v sobě zahrnuje i trvání regulace, pokud byla vyhlášena.

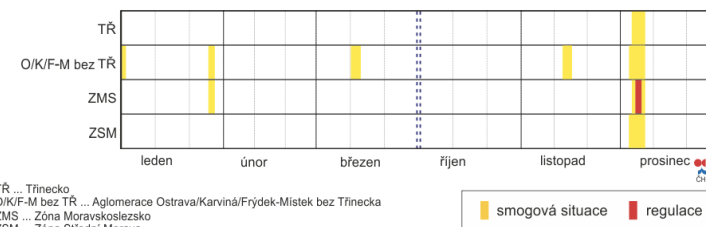
© 2014 COPYRIGHT CHMI, ALL RIGHTS RESERVED



Zdroj: <http://chmi.cz>

11

Zimní smogové situace v roce 2014



TŘ ... Třinecko
O/K/F-M bez TŘ ... Aglomerace Ostrava/Karviná/Frydek-Místek bez Třinecka
ZMS ... Zóna Moravskoslezsko
ZSM ... Zóna Střední Morava

Obr. VI.5 Smogové situace a regulace PM₁₀ v oblastech SVRS, ve kterých byla vyhlášena alespoň jedna smogová situace, 2014

Zdroj: <http://chmi.cz>

12

Zimní smogové situace v roce 2014

- výčet a popis situací na http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/14groc/gr14cz/VI_SVRS_CZ.html

Tab. VI.2 Smogové situace a regulace pro PM_{10} – počet a délka, 2014

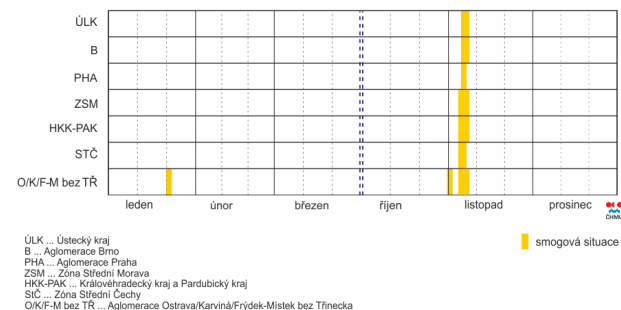
Oblast SVRS	Počet vyhlášení		Délka trvání [h]	
	Smogová situace	Regulace	Smogová situace	Regulace
Aglomerace O/K/F-M bez Třinecka	5	–	240	–
Třinecko	1	–	71	–
Zóna Moravskoslezsko	2	1	110	37
Zóna Střední Morava	1	–	79	–
Česká republika celkem	9	1	501	37

Pozn.: Zahnutý jsou pouze oblasti SVRS, ve kterých došlo k vyhlášení alespoň jedné smogové situace. Trvání smogové situace v sobě zahrnuje i trvání regulace, pokud byla vyhlášena.

Zdroj: <http://chmi.cz>

13

Zimní smogové situace v roce 2015



Obr. VI.5 Smogové situace a regulace PM_{10} v oblastech SVRS, ve kterých byla vyhlášena alespoň jedna smogová situace, 2015

Zdroj: <http://chmi.cz>

14

Zimní smogové situace v roce 2015

- výčet a popis situací na http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/15groc/gr15cz/Obsah_CZ.html
- v roce 2015 bylo vyhlášeno **9 smogových situací** z důvodu vysokých koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v celkové délce trvání 418 h (17 dní)
- nejčastěji byly smogové situace vyhlášovány v aglomeraci O/K/F-M bez Třinecka

Tab. VI.2 Smogové situace a regulace pro PM_{10} – počet a délka, 2015

Oblast SVRS	Počet vyhlášení		Délka trvání [h]	
	Smogová situace	Regulace	Smogová situace	Regulace
Aglomerace Praha	1	–	31	–
Zóna Střední Čechy	1	–	47	–
Královéhradecký a Pardubický kraj	1	–	59	–
Ústecký kraj	1	–	38	–
Aglomerace Brno	1	–	54	–
Zóna Střední Morava	1	–	65	–
Aglomerace O/K/F-M	3	–	124	–
Česká republika celkem	9	–	418	–

Pozn.: Zahnutý jsou pouze oblasti SVRS, ve kterých došlo k vyhlášení alespoň jedné smogové situace. Trvání smogové situace v sobě zahrnuje i trvání regulace, pokud byla vyhlášena.

Zdroj: <http://chmi.cz>

15

Zimní smogové situace v roce 2015

- výčet a popis situací na http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/15groc/gr15cz/Obsah_CZ.html
- poprvé od roku 1997 byla v zóně Severozápad vyhlášena **smogová situace** z důvodů vysokých koncentrací SO_2

Tab. VI.5 Smogové situace a varování pro SO_2 – počet a délka, 2015

Oblast SVRS	Počet vyhlášení		Délka trvání [h]	
	Smogová situace	Regulace	Smogová situace	Regulace
Zóna Severozápad	1	–	14	–
Česká republika celkem	1	–	14	–

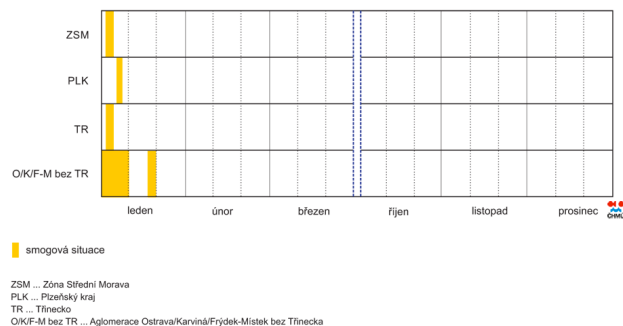
© 2016 COPYRIGHT CHMI, ALL RIGHTS RESERVED



Zdroj: <http://chmi.cz>

16

Zimní smogové situace v roce 2016



Obr. VI.5 Smogové situace a regulace PM₁₀ v oblastech SVRS, ve kterých byla vyhlášena alespoň jedna smogová situace, 2016

Zdroj: <http://chmi.cz>

17

Zimní smogové situace v roce 2016

- výčet a popis situací na http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/16groc/gr16cz/VI_SVRS_CZ.html
- v roce 2016 bylo vyhlášeno **5 smogových situací** z důvodu vysokých koncentrací suspendovaných částic **PM₁₀** v celkové délce trvání 387 h (16 dní)
- všechny situace byly vyhlášeny **v lednu**, a to v aglomeraci O/K/F-M bez Třecka, na Třecku, v zóně Střední Morava a v Plzeňském kraji
- malý počet vyhlášených smogových situací souvisí s příznivějšími rozptylovými podmínkami v chladné části roku, které jsou důsledkem nadnormálně teplého počasí

Tab. VI.2 Smogové situace a regulace pro PM₁₀ – počet a délka, 2016

Oblast SVRS	Počet vyhlášení		Délka trvání [h]	
	Smogová situace	Regulace	Smogová situace	Regulace
Plzeňský kraj	1	-	27	-
Třecko	1	-	31	-
Zóna Střední Morava	1	-	32	-
Agglomeration O/K/F-M	2	-	297	-
Česká republika celkem	5	-	387	-

Pozn.: Zahnutý jsou pouze oblasti SVRS, ve kterých došlo k vyhlášení alespoň jedné smogové situace. Trvání smogové situace v sobě zahrnuje i trvání regulace, pokud byla vyhlášena.

Zdroj: <http://chmi.cz>

18

Zimní smogové situace v roce 2017

- předběžné informace na http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/mes_zpravy/Rocni_zprava_2017.pdf
- v roce 2017 bylo vyhlášeno **39 smogových situací** a **17 regulací** z důvodu vysokých koncentrací suspendovaných částic **PM₁₀** v celkové délce trvání 3 757 h (157 dní) a 940 h (39 dní)
- všechny byly vyhlášeny v období od 7. ledna do 17. února**. Smogové situace a regulace byly vyhlášeny ve všech oblastech SVRS, vyjma Karlovarského, Libereckého kraje, kraje Vysočina a zóny Střední Morava.
- vyšší počet vyhlášených smogových situací souvisí s nepříznivějšími rozptylovými podmínkami v lednu, které se objevovaly důsledkem nadnormálně chladného počasí

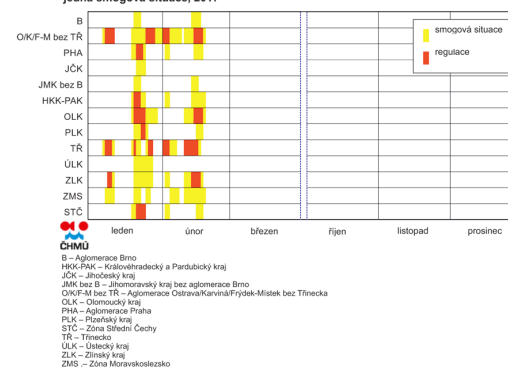
Oblast SVRS	Počet vyhlášení		Délka trvání [h]	
	Smogová situace	Regulace	Smogová situace	Regulace
Agglomeration Brno	2	0	127	0
Agglomeration O/K/F-M bez Třecka	4	4	760	249
Agglomeration Praha	3	1	223	65
Jihočeský kraj	1	0	58	0
Jihomoravský kraj bez aglomeration Brno	2	0	99	0
Královéhradecký a Pardubický kraj	3	1	251	40
Olomoucký kraj	2	2	410	156
Plzeňský kraj	2	1	173	34
Třecko	6	5	482	242
Ústecký kraj	1	0	168	0
Zlínský kraj	5	2	418	83
Zóna Moravskoslezsko	5	0	400	0
Zóna Střední Čechy	3	1	208	71
Česká republika celkem	39	17	3757	940

Zdroj: <http://chmi.cz>

19

Zimní smogové situace v roce 2017

Smogové situace a regulace PM₁₀ v oblastech SVRS, ve kterých byla vyhlášena alespoň jedna smogová situace, 2017



Zdroj: <http://chmi.cz>

20

Zimní smogové situace v roce 2018

- v roce 2017 bylo vyhlášeno **10 smogových situací** a **4 regulace** z důvodu vysokých koncentrací suspendovaných částic **PM₁₀** v celkové délce trvání 775 h (32 dní) a 259 h (11 dní)
- smogové situace a regulace se vyskytovaly zejména v únoru a první dekádě března 2018, a to ve 4 z 16 oblastí SVRS
- K překročení informativní prahové hodnoty pro SO₂ došlo jednou na stanici Sokolov a informativní i regulační prahové hodnoty byly v průběhu roku opakovaně překračovány na stanici Ostrava-Fifejdy. Tato překročení souvisela se sanačními pracemi na lagunách

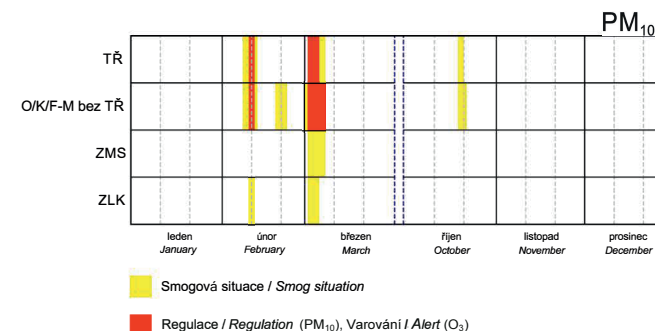
Tab. VI.2 Smogové situace a regulace pro PM₁₀ – počet a délka, 2018
Tab. VI.2 Smog situations and regulations for PM₁₀ – number and duration, 2018

Oblast SVRS SWRS area	Počet vyhlášení Number of announcements		Trvání [h] Duration [h]	
	Smogová situace Smog situation	Regulace Regulation	Smogová situace Smog situation	Regulace Regulation
Aglomerace O/K/F-M bez Třinecka / Agglomeration of O/K/F-M without Třinec area	4	2	336	156
Třinecko / Třinec area	3	2	227	103
Zóna Moravskoslezsko / Moravia-Silesia zone	1	x	120	x
Zlínský kraj / Zlín region	2	x	92	x
Česká republika celkem / Czech Republic in total	10	4	775	259

Zdroj: <http://chmi.cz>

21

Zimní smogové situace v roce 2018



Zdroj: <http://chmi.cz>

22

Zimní smogové situace v roce 2019

- přehled 2019
https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/06_svrs_v2.pdf
- v roce 2019 bylo vyhlášeno **5 smogových situací** a **2 regulací** z důvodu vysokých koncentrací suspendovaných částic **PM₁₀** v celkové délce trvání 385 h (16 dní) a 162 h (7 dní) - vše na začátku roku v lednu

Tab. VI.2 Smogové situace a regulace pro PM₁₀ – počet a délka, 2019

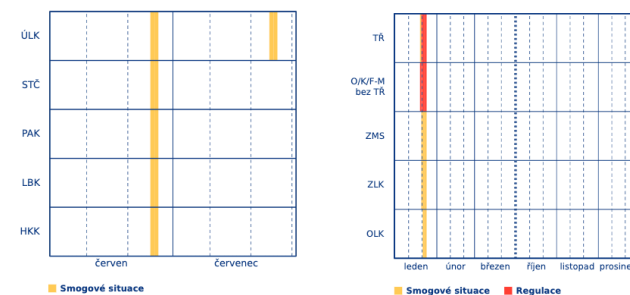
Oblast SVRS	Počet vyhlášení Number of announcements		Trvání [h] Duration [h]	
	Smogová situace Smog situation	Regulace Regulation	Smogová situace Smog situation	Regulace Regulation
Aglomerace O/K/F-M bez Třinecka	1	1	94	84
Třinecko	1	1	90	78
Zóna Moravskoslezsko	1	x	75	x
Zlínský kraj	1	x	73	x
Olomoucký kraj	1	x	53	x
Česká republika celkem	5	2	385	162

Pozn: Zahnutý jsou pouze oblasti SVRS, ve kterých došlo k vyhlášení alespoň jedné smogové situace. Trvání smogové situace v sobě zahrnuje i trvání regulace, pokud byla vyhlášena.

Zdroj: <http://chmi.cz>

23

Zimní smogové situace v roce 2019



Obr. VI.5 Smogové situace a regulace (varování) pro PM₁₀ (vpravo) a O₃ (vlevo) v oblastech SVRS, ve kterých byla vyhlášena alespoň jedna smogová situace, 2019

Zdroj: <http://chmi.cz>

24

Zimní smogové situace v roce 2020

- aktualizovaný (?) přehled na <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/smog/index.html>
- první rok v dlouholeté historii smogového varovného a regulačního systému (SVRS), kdy nebyla v celé zemi vyhlášena ani jedna smogová situace či regulace
- rozptylové podmínky byly velmi příznivé, nevyskytla se žádná delší perioda přízemních teplotních inverzí
- teplejší zima, menší potřeba vytápění
- chladnější léto
- snižování emisí, výměna kotlů a nouzový stav
- více např. [zde](#)

Zdroj: <http://chmi.cz>

25

Zimní smogové situace v roce 2021

- aktualizovaný (?) přehled na <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/smog/index.html>
- **jedna smogová situace** na konci roku 2021, trvání **58 hodin**, z důvodu vysokých koncentrací PM₁₀, **aglomerace O/K/F-M bez Třinecka**
- v závěru vánočních svátků 2021 se nad Česko opět rozšířila tlaková výše ve studeném vzduchu. V ní se vytvořila výrazná inverze teploty a kvůli slabému proudění se i výrazně zhoršily rozptylové podmínky (zdroj https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/mes_zpravy/PROSINEC_2021.pdf)

Tab. VI.1 Smogové situace a regulace pro PM₁₀ – časy vyhlášení, 2021

Vyhlášení		Odvolání		Trvání	
Smogová situace	Regulace	Regulace	Smogová situace	Smogová situace	Regulace
den a hodina SEČ				[h]	
Aglomerace O/K/F-M bez Třinecka					
27. 12. 2021 1:51	x	x	29.12.2021 12:00	58	x

Pozn: SEČ – místní čas, tj. středoevropský čas. Trvání smogové situace v sobě zahrnuje i trvání regulace, pokud byla vyhlášena.

Zdroj: <http://chmi.cz>

26

Zimní smogové situace v roce 2022

- aktualizovaný (?) přehled na <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/smog/index.html>
- **žádná smogová situace z důvodu vysokých koncentrací PM₁₀**

Zdroj: <http://chmi.cz>

27

Zimní smogové situace v roce 2023

- aktualizovaný (?) přehled na <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/smog/index.html>
- V roce 2023 byly z důvodu vysokých koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ vyhlášeny **celkem 3 souběžné smogové situace v délce 24–57 h**

Tab. 1 Vyhlášené smogové situace z důvodu vysokých koncentrací PM₁₀, 2023

	Vyhlášení [SEČ]	Odvolání [SEČ]	Trvání [h]	Délka [den]
Třinecko	07.12.2023 09:26	08.12.2023 12:50	27	1,1
Agglomerace O/K/F-M bez Třinecka	07.12.2023 09:26	09.12.2023 15:27	54	2,3
Moravskoslezský kraj bez agl. O/K/F-M	07.12.2023 15:57	08.12.2023 16:17	24	1,0

Zdroj: <http://chmi.cz>

28

Zimní smogové situace v roce 2024

- aktualizovaný (?) přehled na <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/smog/index.html>
- V roce 2024** bylo vyhlášeno **18 smogových situací a jedna regulace** kvůli vysokým koncentracím PM10 v celkové délce 821 h (34,2 dni)
- Smogová situace na přelomu března a dubna byla vyhlášena z důvodu výrazného navýšení koncentrací PM10 **při přechodu saharského písečného prachu** přes ČR
- Epizoda přechodu saharského písečného prachu přes území České republiky na přelomu března a dubna 2024 přinesla nejvýraznější zhoršení kvality ovzduší v důsledku tohoto jevu v novodobé historii měření kvality ovzduší na našem území. Hodnoty koncentrací částic PM byly plošně velmi výrazně zvýšené prakticky ve všech krajích a téměř na celém území vyústily až ve vyhlášení smogové situace z důvodu překročení prahové hodnoty na více než polovině reprezentativních stanic v jednotlivých krajích.

Zdroj: <http://chmi.cz>

29

Zimní smogové situace v roce 2024

Tab. 1 Vyhlášené smogové situace z důvodu vysokých koncentrací PM₁₀, 2024

OBLAST	Vyhlášení [SEČ]		Odvolení [SEČ]		Trvání [h]		Délka [den]	
	smog. situace	regulace	smog. situace	reg.	smog. sit.	reg.	smog. sit.	reg.
Třinecko	09.01.2024 20:39	x	x	11.01.2024 06:16	34	x	1	x
Aglomerace O/KF-M bez Třinecka	10.01.2024 01:20	x	x	11.01.2024 18:22	41	x	2	x
Zóna Moravskoslezsko	10.01.2024 02:04	x	x	11.01.2024 22:30	44	x	2	x
Jihočeský kraj	30.03.2024 17:49	x	x	01.04.2024 11:57	41	x	2	x
Kraj Vysočina	30.03.2024 17:49	x	x	01.04.2024 11:57	41	x	2	x
Píseňský kraj	30.03.2024 18:51	x	x	01.04.2024 11:57	40	x	2	x
Třinecko	30.03.2024 20:33	x	x	02.04.2024 08:21	59	x	3	x
Aglomerace O/KF-M bez Třinecka	30.03.2024 20:33	x	x	02.04.2024 08:21	59	x	3	x
Aglomerace Brno	30.03.2024 20:53	x	x	02.04.2024 04:51	55	x	2	x
Zóna Moravskoslezsko	30.03.2024 21:38	x	x	02.04.2024 06:10	56	x	2	x
Zóna Střední Čechy	30.03.2024 21:56	x	x	01.04.2024 13:49	39	x	2	x
Aglomerace Praha	30.03.2024 21:56	x	x	01.04.2024 13:49	39	x	2	x
Karlovarský kraj	30.03.2024 21:56	x	x	01.04.2024 13:49	39	x	2	x
Ústecký kraj	30.03.2024 21:56	x	x	01.04.2024 17:13	42	x	2	x
Královéhradecký kraj a Pardubický kraj	30.03.2024 23:39	x	x	01.04.2024 11:57	35	x	2	x
Liberecký kraj	30.03.2024 23:39	x	x	01.04.2024 13:49	37	x	2	x
Třinecko	27.12.2024 02:09	x	x	29.12.2024 12:13	58	x	2	x
Aglomerace O/KF-M bez Třinecka	27.12.2024 02:09	28.12.2024 03:28	29.12.2024 12:13	29.12.2024 16:07	62	33	3	1

Zdroj: <http://chmi.cz>

30

Přehled znečišťujících látek

Tabulka 11.1 Znečišťující látky a některé jejich účinky.

druh účinku	látky obsahující síru	látky obsahující dusík	halogeny	sloučeniny uhlíku	kovy	částice	oxidanty
zdraví	SO ₂ , H ₂ S, sulfát	NO ₂	fluorid	org. Cl	CO, PAH, benzen aldehydy, saze	Cr, Cd, Hg, Pb, As	poléťavý prach O ₃
obtíže, nepříjemné vjemy	org. S, H ₂ S	org. N		zápachající látky			prašný spad, poléťavý prach
půda a pozemní ekosystémy	SO ₂ , sulfát	NO ₂ , dusičnan amonný	fluorid	eten	V, Ni, Cu		O ₃
kvalita potravin		dusičnan amonný		persistentní polutanty, farmaka	Pb, Hg		O ₃
voda a akvatické ekosystémy	SO ₂ , sulfát	dusičnan amonný			Hg, Al		
materiály	SO ₂	NO ₂	HCl				O ₃
klima		N ₂ O	org. F org. Cl	CO ₂ , metan		poléťavý prach	O ₃

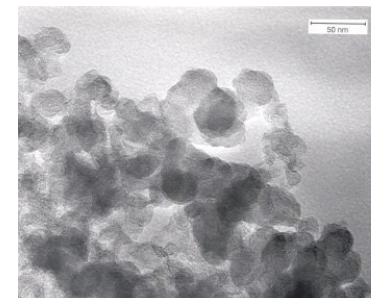
PAH: polycyklické aromatické uhlovodíky; org. S: organické sloučeniny síry; org. F: organické sloučeniny fluoru; org. N: organické sloučeniny dusíku; org. Cl: organické sloučeniny chloru.

Zdroj: Atmosféra a klima : Aktuální otázky znečištění ovzduší

31

Přehled znečišťujících látek - zimní smog a pevné částice

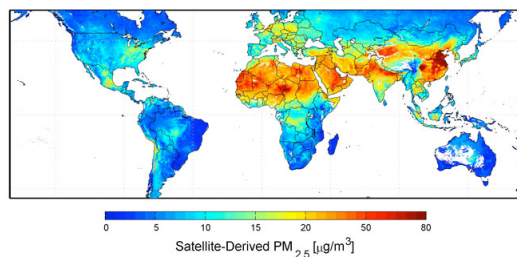
- pevné částice - particulate matter PM**
- ozon O₃
- oxid uhelnatý CO
- oxidy dusíku NO_x
- oxidy síry (SO₂, SO₃)
- těžké kovy - olovo Pb
- organické látky



32

Pevné částice PM

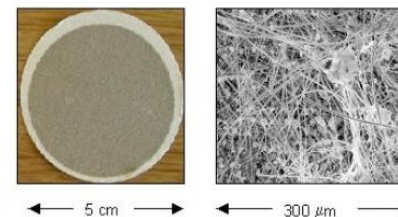
- pevné částice či (pevné) prachové částice (anglicky: particulates či particulate matter – PM) jsou **drobné pevné či kapalné částice rozptýlené ve vzduchu**, které jsou tak malé, že mohou být unášeny vzduchem. Podílí na důležitých atmosférických dějích jako **vznik vodních srážek a ovlivňují teplotní bilanci Země**.



33

Pevné částice PM - hlavní zdroje

- přírodní i antropogenní zdroje
- z přírodních zdrojů** to jsou primárně sopky, prach šířený díky proudění v atmosféře a lesní/stepní požáry
- z antropogenních zdrojů** se na znečištění pevnými částicemi podílí zejména **pálení fosilních paliv v průmyslu i v dopravě**, větrem šířený prach ze staveb a z jiných oblastí, kde se nevyskytuje porost anebo případně vodní plochy

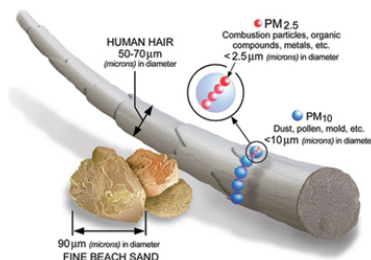


34

Pevné částice PM - rozdělení dle velikosti

- Total Suspended Particulates **TSP** (celkový prašný aerosol) - (D_{pa} > 10 µm)
- PM10** - (D_{pa} ≤ 10 µm)
- PM2.5** - (D_{pa} ≤ 2.5 µm)
- PM1.0** - (D_{pa} ≤ 1 µm)
- Ultrafine **UFP/UP** - (D_{pa} ≤ 0.1 µm)

Menší a lehčí částice setrvávají v atmosféře relativně déle, z atmosféry jsou většinou odstraňovány díky srážkám. **Větší částice** mají relativně větší tendenci z atmosféry vypadávat díky gravitaci.



35

Pevné částice PM - situace v ČR



- přehled situace v ČR v minulých letech na http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html
- přehled EU na <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>
- konkrétní popis vývoje v letech 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023**

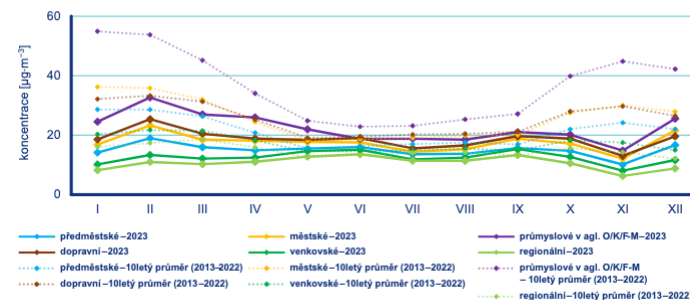
36

Pevné částice PM - zdravotní dopady

- **při krátkodobé expozici**
 - vyšší počet **zánětlivých onemocnění plic**, nepříznivé **účinky na srdečně-cévní systém**, vyšší spotřeba léčiv, zvýšení počtu hospitalizací, vyšší úmrtnost
- **při dlouhodobé expozici**
 - snížení plicních funkcí dětí i dospělých, vyšší počet chorob dolních cest dýchacích, **alergie, astma**, zvýšení výskytu chronické obstrukční nemoci plicní, snížení předpokládané délky doby dožití
- znečištění prachovými částicemi v současnosti patří k **hlavním problémům kvality ovzduší v České republice**. Představují významné riziko pro lidské zdraví a pocházejí hlavně **ze spalovacích procesů v energetice, vytápění domácností a v dopravě**. Ta kromě přímých exhalací způsobuje i víření již usazených částic do ovzduší.

37

Pevné částice PM - roční chod

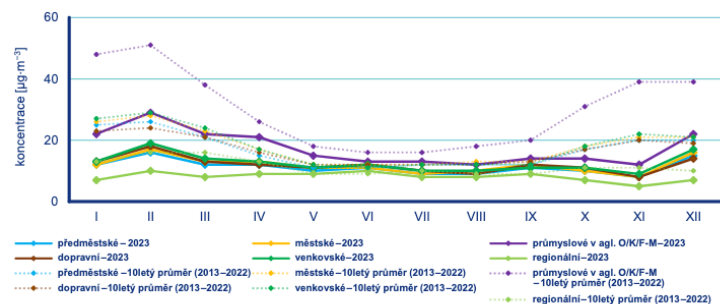


Obr. IV.1.10 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací PM₁₀ (průměry pro daný typ stanice), 2023

Zdroj: <http://chmi.cz>

38

Pevné částice PM - roční chod



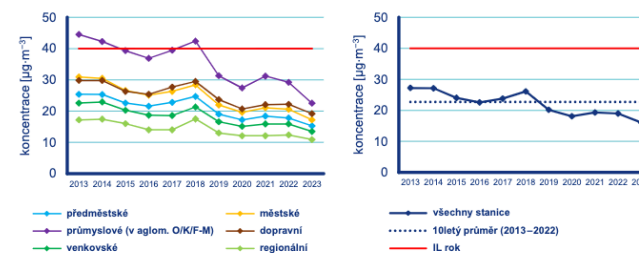
Obr. IV.1.15 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací PM₁₀ (průměry pro daný typ stanice), 2023

Zdroj: <http://chmi.cz>

39

Pevné částice PM - situace v ČR

- vývoj imisí PM₁₀



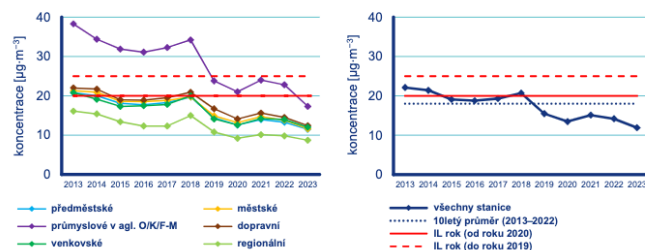
Obr. IV.1.18 Roční průměrné koncentrace PM₁₀ na jednotlivých typech stanic, 2013–2023

Zdroj: <http://chmi.cz>

40

Pevné částice PM - situace v ČR

- vývoj imisí PM_{2.5}



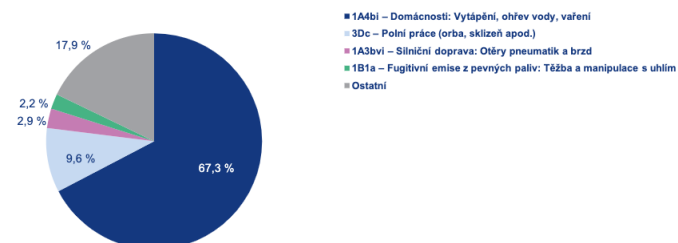
Obr. IV.1.1.9 Roční průměrné koncentrace PM_{2.5} na jednotlivých typech stanic, 2013–2023

Zdroj: <http://chmi.cz>

41

Pevné částice PM - hlavní zdroje

- PM₁₀ - u primárních zdrojů zejména lokální vytápění a polní práce



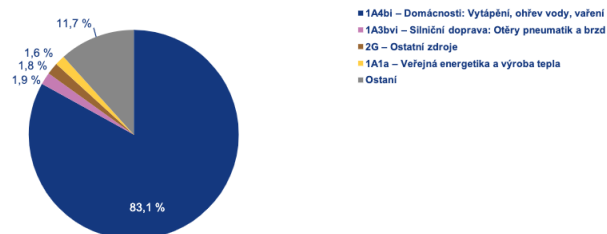
Obr. IV.1.20 Podíl sektorů NFR na celkových emisích PM₁₀, 2022

Zdroj: <http://chmi.cz>

42

Pevné částice PM - hlavní zdroje

- PM_{2.5} - u primárních zdrojů zejména lokální vytápění, doprava a energetika



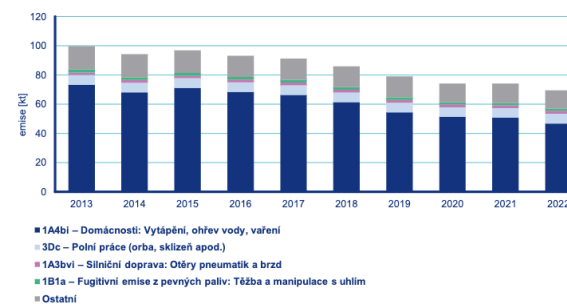
Obr. IV.1.22 Podíl sektorů NFR na celkových emisích PM_{2.5}, 2022

Zdroj: <http://chmi.cz>

43

Pevné částice PM - situace v ČR

- vývoj emisí PM₁₀



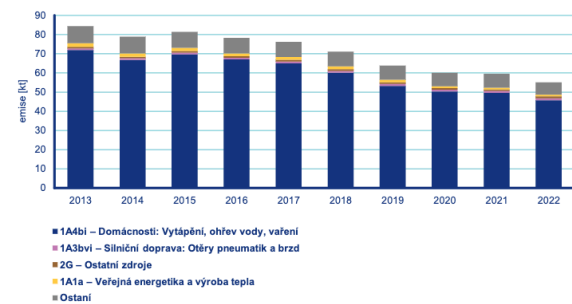
Obr. IV.1.21 Celkové emise PM₁₀, 2013–2022

Zdroj: <http://chmi.cz>

44

Pevné částice PM - situace v ČR

- vývoj emisí PM_{2.5}



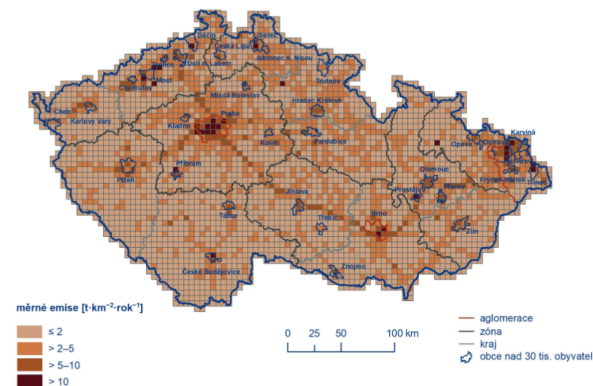
Obr. IV.1.23 Celkové emise PM_{2.5} 2013–2022

Zdroj: <http://chmi.cz>

45

Pevné částice PM - situace v ČR

- emise PM₁₀



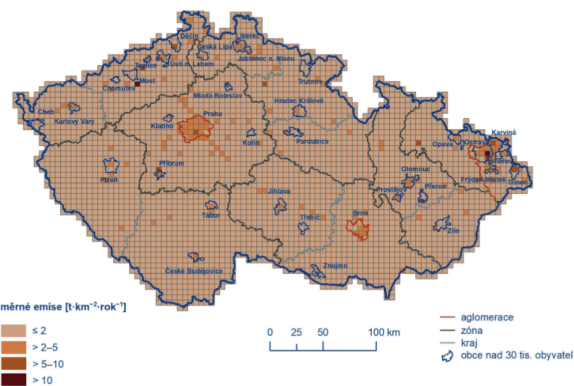
Obr. IV.1.24 Celkové emise PM₁₀ v rozlišení 5 × 5 km, 2021

Zdroj: <http://chmi.cz>

46

Pevné částice PM - situace v ČR

- emise PM_{2.5}



Obr. IV.1.25 Celkové emise PM_{2.5} v rozlišení 5 × 5 km, 2021

Zdroj: <http://chmi.cz>

47

Pevné částice PM - situace v ČR



Tab. XIII.5 Přehled lokalit, kde byl v letech 2012–2016 překročen imisní limit pro roční průměrnou koncentraci PM₁₀

KLOK	Lokalita	Vlastník	Klasifikace	2012	2013	2014	2015	2016
TBOM	Bohumín	ČHMÚ,MSK	B/S/RI	52,6				
TCTN	Český Těšín	ČHMÚ	B/U/R	46,1	44,7	43,4	36,5	32,9
TDCK	Důl ČSA u Karviné	ČHMÚ,MSK	B/R/I-NCI	43,6				
THAR	Havířov	ČHMÚ	B/U/R	44,3	44,9	41,6	36,2	32,9
TKAO	Karviná-ZÚ	ZÚ-Ostrava	T/U/R	46,2	29,6	33,8		
TKAR	Karviná	ČHMÚ	B/U/R	45,3	43,4	41,8	36,6	33,8
TOCB	Ostrava-Československá (hot spot)	ČHMÚ	T/U/CR	42,4	40,3	37,3	33,7	
TOFF	Ostrava-Fifejdy	ČHMÚ	B/U/R	41,5	40,6	38,6	33,9	30,2
TOMH	Ostrava-Mariánské Hory	ZÚ, SMOva	I/U/IR	42,5	38,7	37,1	31,5	27,5
TOPR	Ostrava-Přívoz	ČHMÚ	I/U/IR	44,0	43,7	42,1	36,3	32,9
TORE	Ostrava-Radvanice ZÚ	ZÚ, SMOva	I/S/IR	49,2		42,6	42,2	41,0
TORO	Ostrava-Radvanice OZO	ZÚ, SMOva	B/S/R		43,7	39,4	33,7	33,5
TORV	Orlová	ČHMÚ	B/U/R	45,9	44,1	40,2	36,1	34,0
TOZR	Ostrava-Zábřeh	ČHMÚ	B/U/R	40,9	45,7	42,2	31,8	29,6
TPEA	Petrovice u Karviné OÚ	ČHMÚ,MSK	B/S/IR	59,7				
TSUN	Šuných	ČEZ	I/S/A		39,2	41,3	34,0	33,2
TVER	Větrňovice	ČHMÚ	B/R/AI-NCI	56,3	47,0	48,0	41,6	39,7
ZZLT	Zlín-Svit	MZL	T/U/CR		34,9	45,3	41,7	

Zdroj: <http://chmi.cz>

48

Pevné částice PM - smogové situace a imisní limity

- **Přehled imisních limitů pro ochranu zdraví a imisních limitů pro ochranu ekosystémů a vegetace**
viz https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity_CZ.html

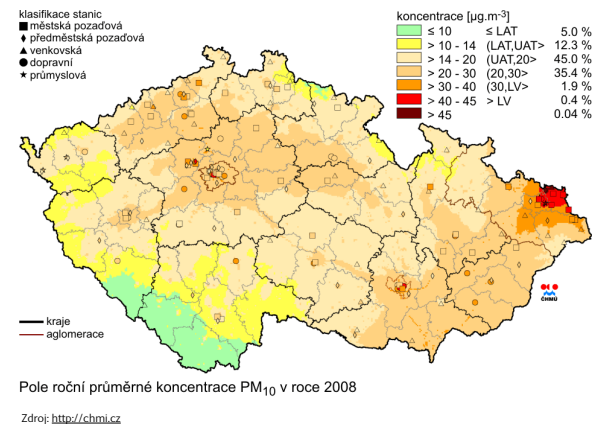
- **Pravidla fungování smogového varovného a regulačního systému (SVRS, pravidla pro vyhlášení a odvolávání smogových situací a regulací a varování)**
viz https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/smog/SVRS_pravidla-fungovani.pdf
a <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/smog/index.html>



Zdroj: <http://chmi.cz>

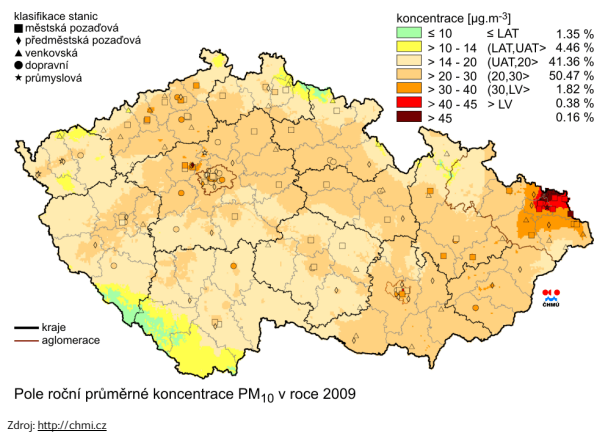
49

Pevné částice PM - stav v ČR



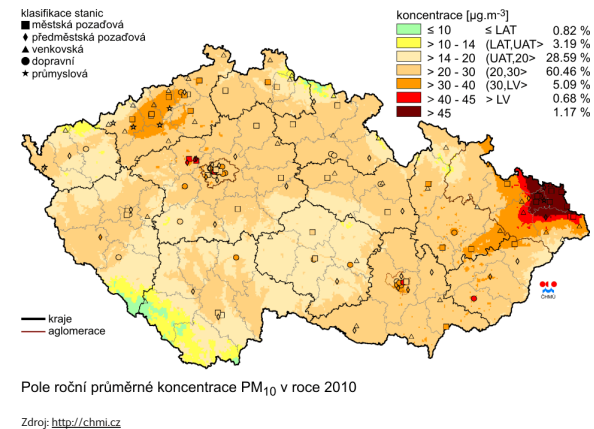
50

Pevné částice PM - stav v ČR



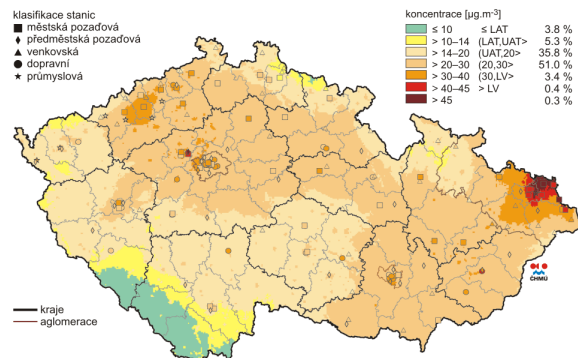
51

Pevné částice PM - stav v ČR



52

Pevné částice PM - stav v ČR

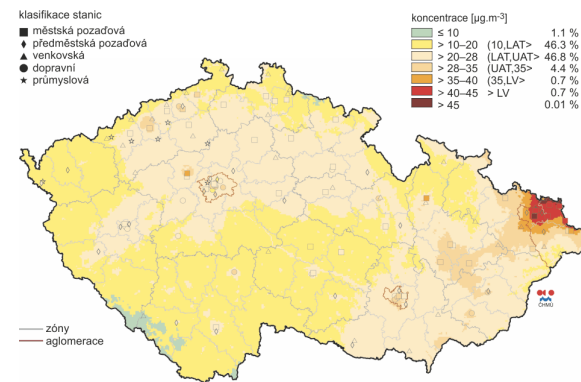


Obr. II.4.2.8 Pole roční průměrné koncentrace PM_{10} v roce 2011

Zdroj: <http://chmi.cz>

53

Pevné částice PM - stav v ČR

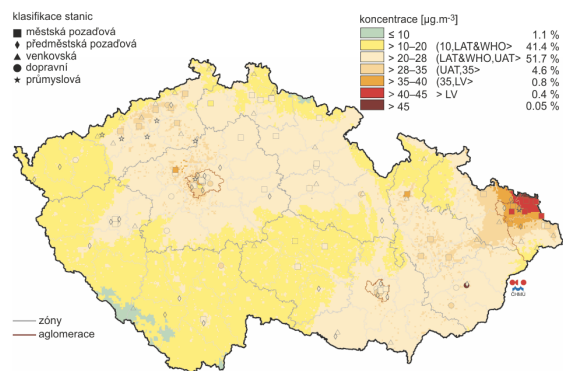


Obr. IV.1.2 Pole roční průměrné koncentrace PM_{10} v roce 2013

Zdroj: <http://chmi.cz>

54

Pevné částice PM - stav v ČR

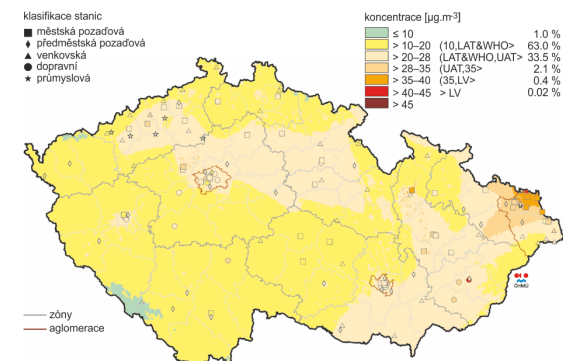


Obr. IV.1.2 Pole roční průměrné koncentrace PM_{10} , 2014

Zdroj: <http://chmi.cz>

55

Pevné částice PM - stav v ČR

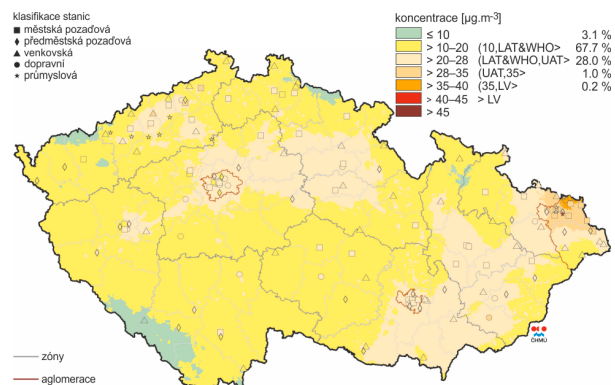


Obr. IV.1.2 Pole roční průměrné koncentrace PM_{10} , 2015

Zdroj: <http://chmi.cz>

56

Pevné částice PM - stav v ČR

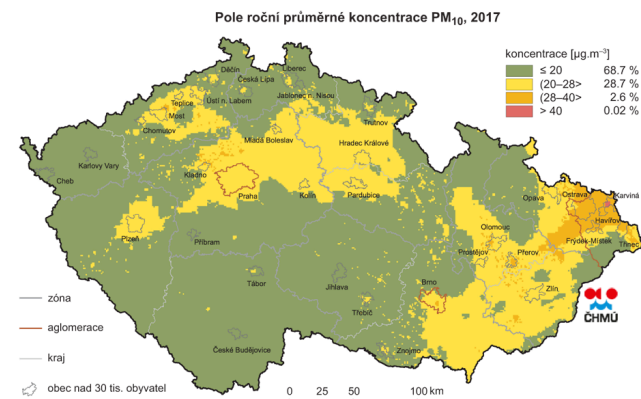


Obr. IV.1.2 Pole roční průměrné koncentrace PM_{10} , 2016

Zdroj: <http://chmi.cz>

57

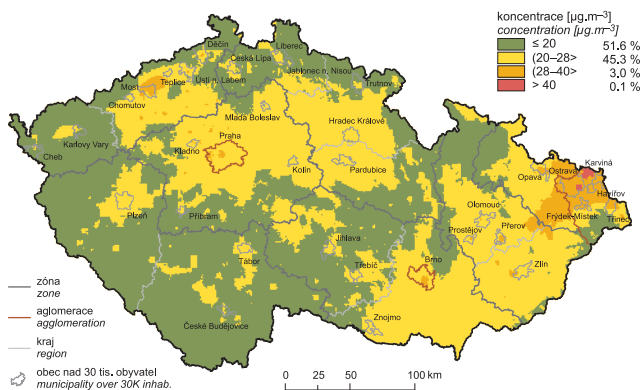
Pevné částice PM - stav v ČR



Zdroj: <http://chmi.cz>

58

Pevné částice PM - stav v ČR

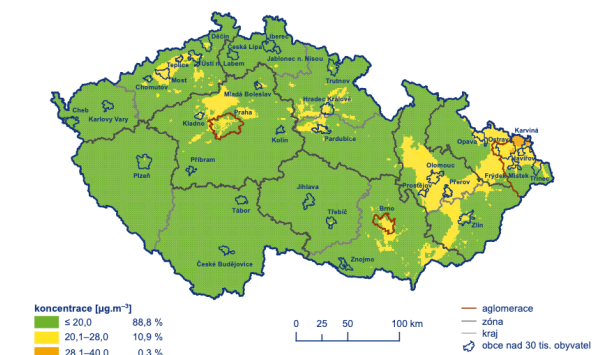


Obr. IV.1.3 Pole roční průměrné koncentrace PM_{10} , 2018
 Fig. IV.1.3 Field of annual average concentration of PM_{10} , 2018

Zdroj: <http://chmi.cz>

59

Pevné částice PM - stav v ČR

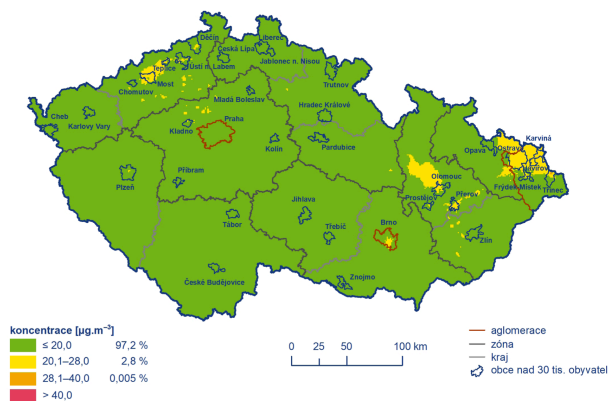


Obr. IV.1.8 Pole roční průměrné koncentrace PM_{10} , 2019

Zdroj: <http://chmi.cz>

60

Pevné částice PM - stav v ČR

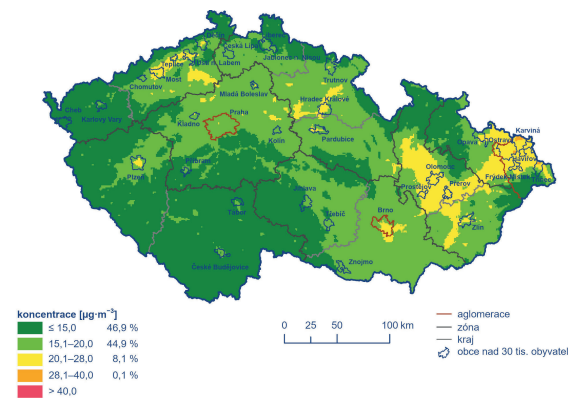


Obr. IV.1.8 Pole roční průměrné koncentrace PM_{10} 2020

Zdroj: <http://chmi.cz>

61

Pevné částice PM - stav v ČR

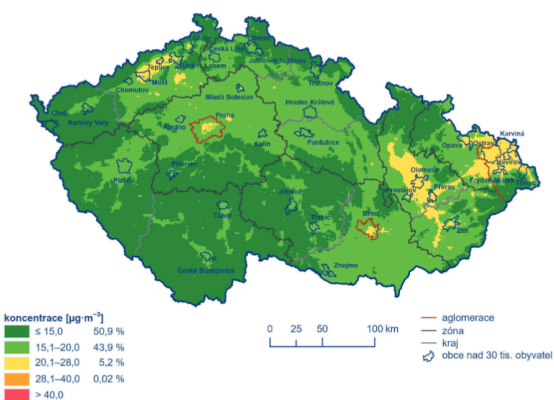


Obr. IV.1.8 Pole roční průměrné koncentrace PM_{10} 2021

Zdroj: <http://chmi.cz>

62

Pevné částice PM - stav v ČR

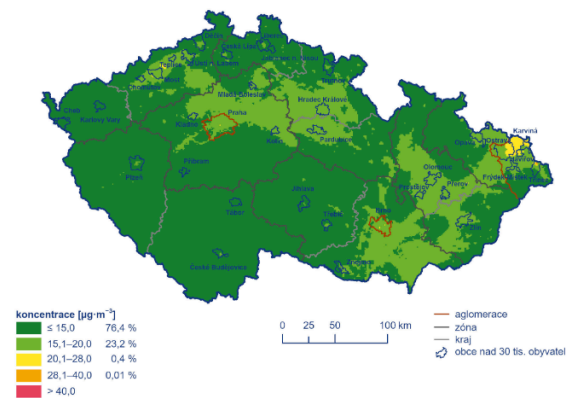


Obr. IV.1.8 Pole roční průměrné koncentrace PM_{10} 2022

Zdroj: <http://chmi.cz>

63

Pevné částice PM - stav v ČR

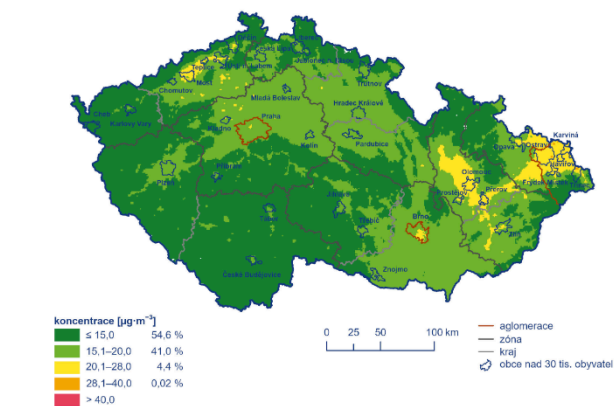


Obr. IV.1.8 Pole roční průměrné koncentrace PM_{10} 2023

Zdroj: <http://chmi.cz>

64

Pevné částice PM - stav v ČR

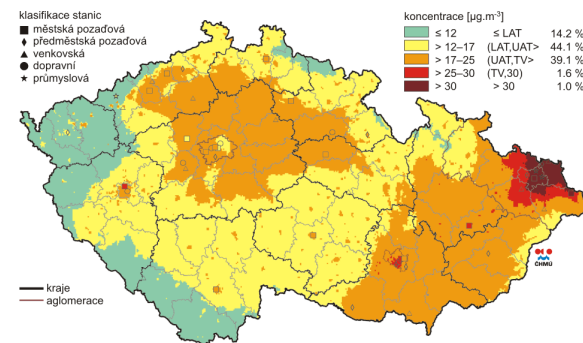


Obr. IV.1.9 Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací PM_{10} 2019–2023

Zdroj: <http://chmi.cz>

65

Pevné částice PM - stav v ČR

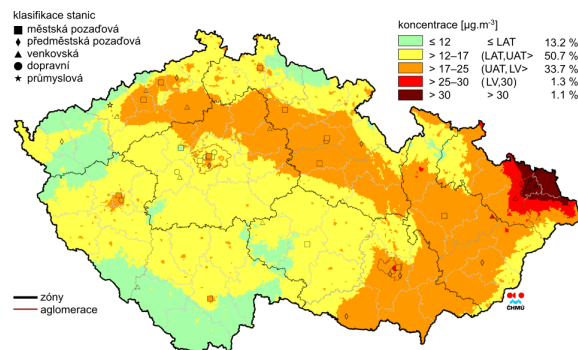


Obr. II.4.2.14 Roční průměrné koncentrace $\text{PM}_{2.5}$ na stanicích v roce 2011

Zdroj: <http://chmi.cz>

66

Pevné částice PM - stav v ČR

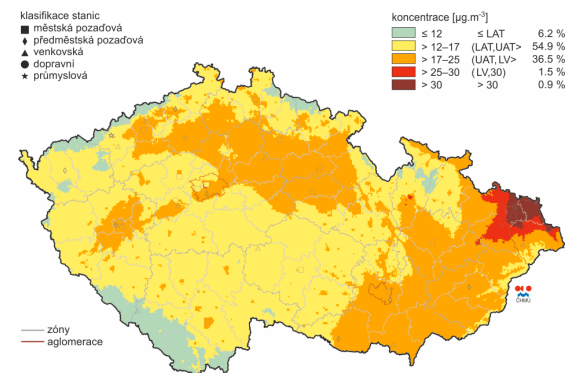


Obr. II.4.2.14 Pole roční průměrné koncentrace $\text{PM}_{2.5}$ v roce 2012

Zdroj: <http://chmi.cz>

67

Pevné částice PM - stav v ČR

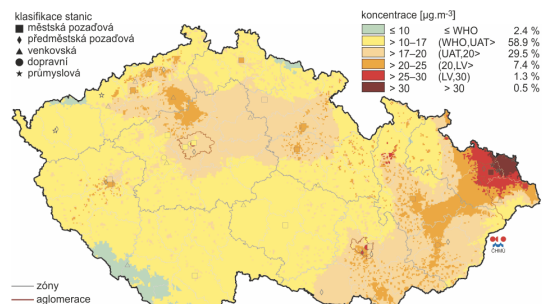


Obr. IV.1.7 Pole roční průměrné koncentrace $\text{PM}_{2.5}$ v roce 2013

Zdroj: <http://chmi.cz>

68

Pevné částice PM - stav v ČR

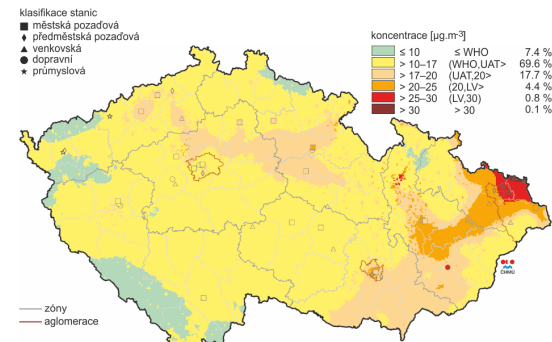


Obr. IV.1.4 Pole roční průměrné koncentrace $\text{PM}_{2.5}$, 2014

Zdroj: <http://chmi.cz>

69

Pevné částice PM - stav v ČR

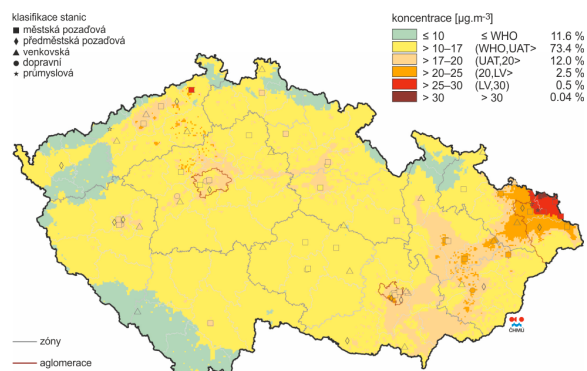


Obr. IV.1.4 Pole roční průměrné koncentrace $\text{PM}_{2.5}$, 2015

Zdroj: <http://chmi.cz>

70

Pevné částice PM - stav v ČR

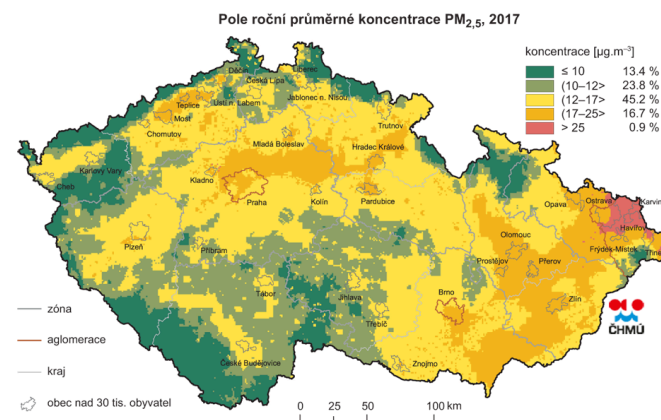


Obr. IV.1.4 Pole roční průměrné koncentrace $\text{PM}_{2.5}$, 2016

Zdroj: <http://chmi.cz>

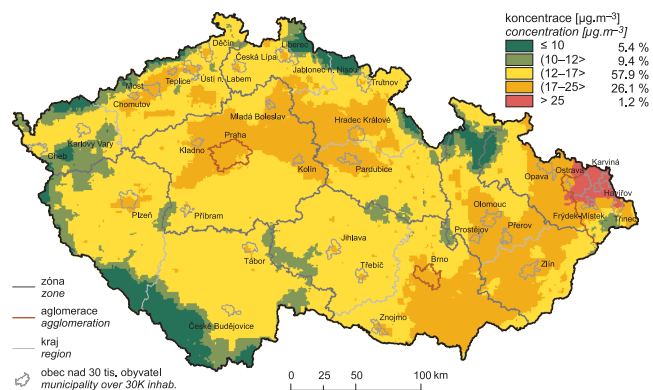
71

Pevné částice PM - stav v ČR



72

Pevné částice PM - stav v ČR

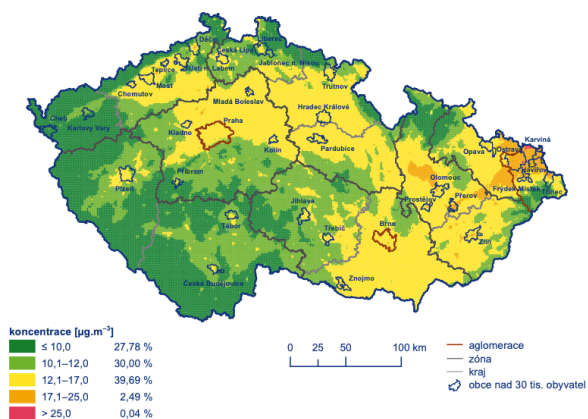


Obr. IV.1.5 Pole roční průměrné koncentrace $\text{PM}_{2.5}$ 2018
Fig. IV.1.5 Field of annual average concentration of $\text{PM}_{2.5}$ 2018

Zdroj: <http://chmi.cz>

73

Pevné částice PM - stav v ČR

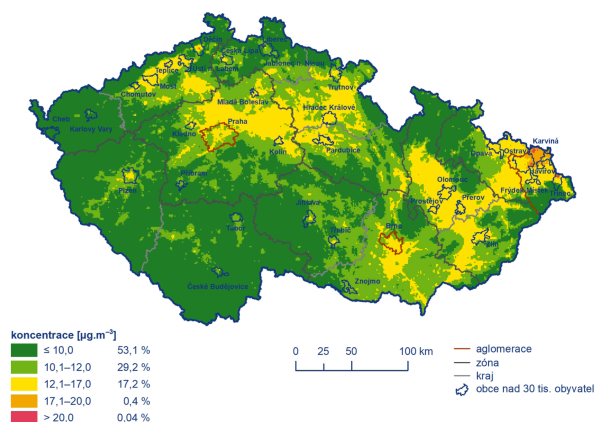


Obr. IV.1.12 Pole roční průměrné koncentrace $\text{PM}_{2.5}$ 2019

Zdroj: <http://chmi.cz>

74

Pevné částice PM - stav v ČR

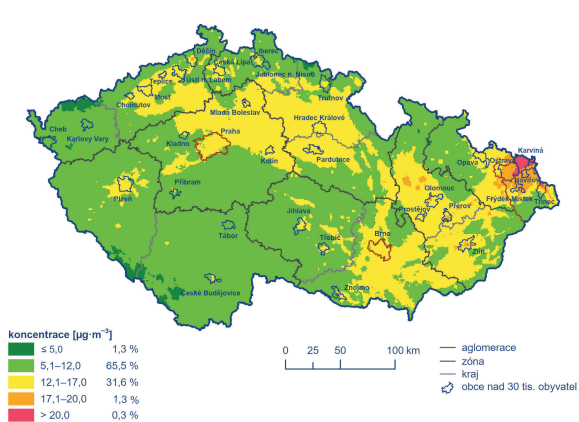


Obr. IV.1.12 Pole roční průměrné koncentrace $\text{PM}_{2.5}$ 2020

Zdroj: <http://chmi.cz>

75

Pevné částice PM - stav v ČR

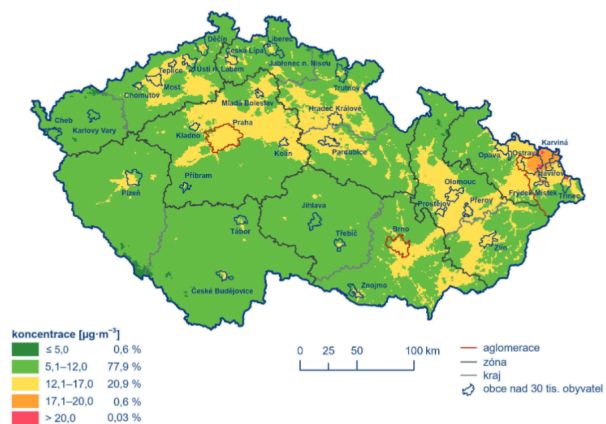


Obr. IV.1.12 Pole roční průměrné koncentrace $\text{PM}_{2.5}$ 2021

Zdroj: <http://chmi.cz>

76

Pevné částice PM - stav v ČR

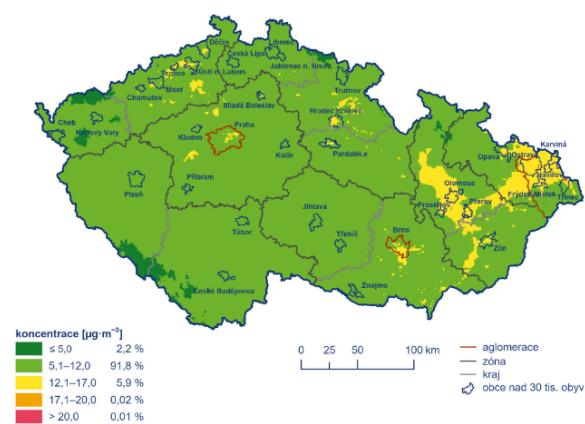


Obr. IV.1.12 Pole roční průměrné koncentrace PM_{10} , 2022

Zdroj: <http://chmi.cz>

77

Pevné částice PM - stav v ČR

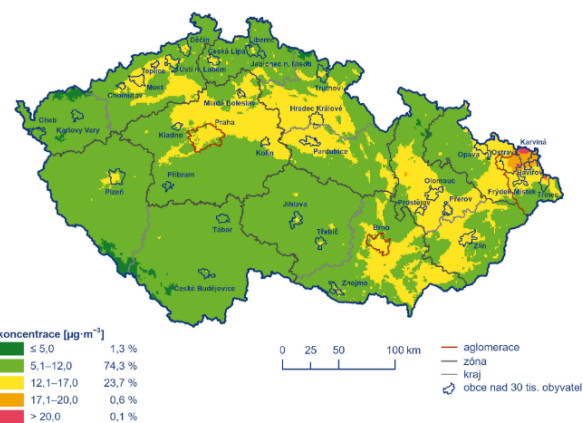


Obr. IV.1.12 Pole roční průměrné koncentrace PM_{10} , 2023

Zdroj: <http://chmi.cz>

78

Pevné částice PM - stav v ČR

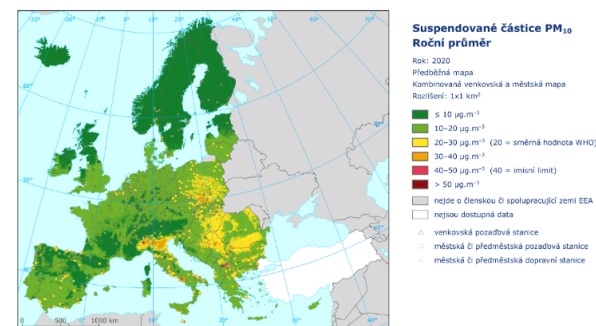


Obr. IV.1.14 Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací PM_{10} , 2019–2023

Zdroj: <http://chmi.cz>

79

Pevné částice PM - stav v EU

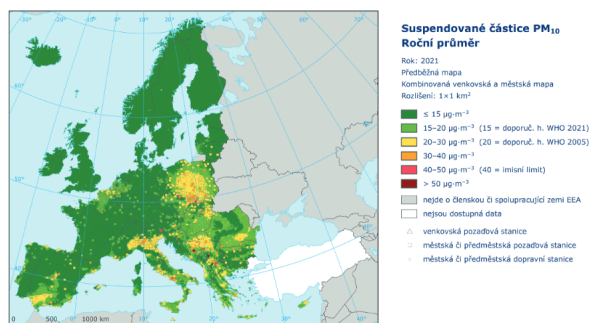


Obr. VIII.3 Pole průměrné roční koncentrace PM_{10} v Evropě, 2020, předběžná mapa

Zdroj: <http://chmi.cz>

80

Pevné částice PM - stav v EU

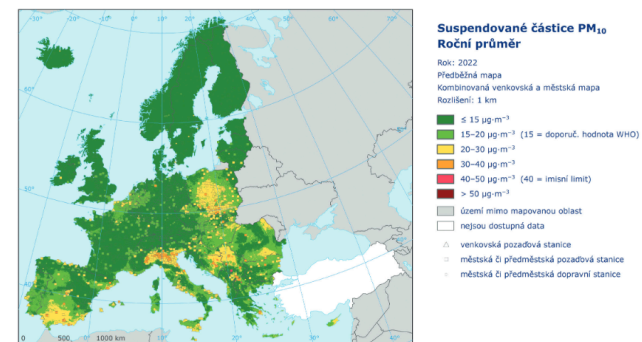


Obr. VIII.3 Pole průměrné roční koncentrace PM₁₀ v Evropě, 2021, předběžná mapa

Zdroj: <http://chmi.cz>

81

Pevné částice PM - stav v EU

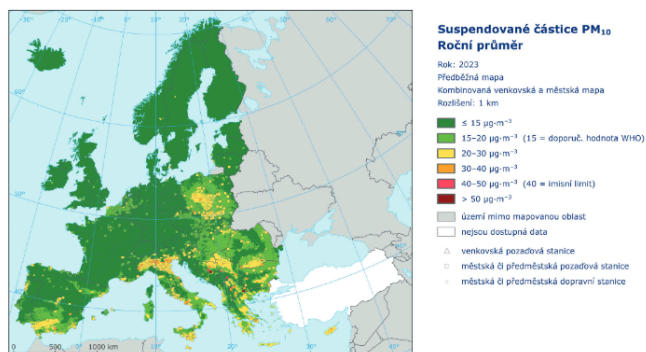


Obr. VIII.3 Pole průměrné roční koncentrace PM₁₀ v Evropě, 2022, předběžná mapa

Zdroj: <http://chmi.cz>

82

Pevné částice PM - stav v EU

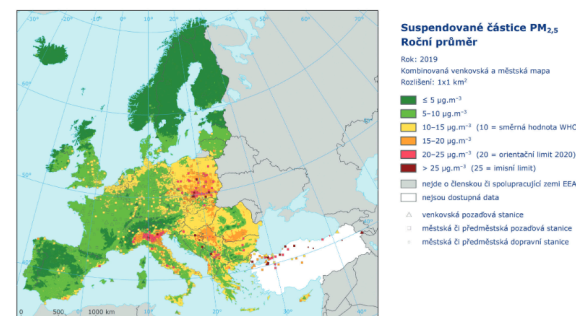


Obr. VIII.3 Pole průměrné roční koncentrace PM₁₀ v Evropě, 2023, předběžná mapa

Zdroj: <http://chmi.cz>

83

Pevné částice PM - stav v EU

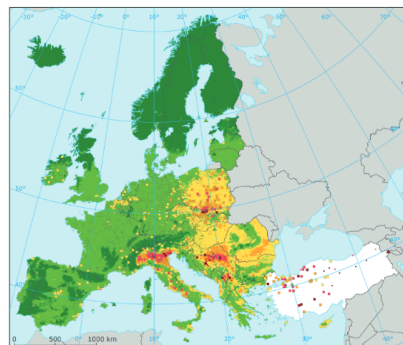


Obr. VIII.4 Pole průměrné roční koncentrace PM_{2.5} v Evropě, 2019

Zdroj: <http://chmi.cz>

84

Pevné částice PM - stav v EU



Suspendované částice PM_{2.5}
Roční průměr
Rok: 2020
Kombinovaná venkovská a městská mapa
Rozlišení: 1 x 1 km²

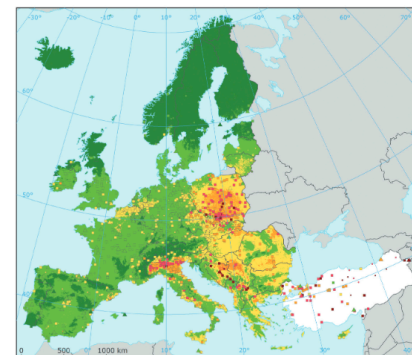
- ≤ 5 µg·m⁻³
- 5–10 µg·m⁻³ (5 = doporuč. h. WHO 2021)
- 10–15 µg·m⁻³ (10 = doporuč. h. WHO 2005)
- 15–20 µg·m⁻³
- 20–25 µg·m⁻³ (20 = orientační limit)
- > 25 µg·m⁻³ (25 = imisní limit)
- nejde o členskou či spolupracující zemi EEA
- nejdou dostupná data
- △ venkovská pozadová stanice
- městská či předměstská pozadová stanice
- městská či předměstská dopravní stanice

Obr. VIII.4 Pole průměrné roční koncentrace PM_{2.5} v Evropě, 2020

Zdroj: <http://chmi.cz>

85

Pevné částice PM - stav v EU



Suspendované částice PM_{2.5}
Roční průměr
Rok: 2021
Kombinovaná venkovská a městská mapa
Rozlišení: 1 km

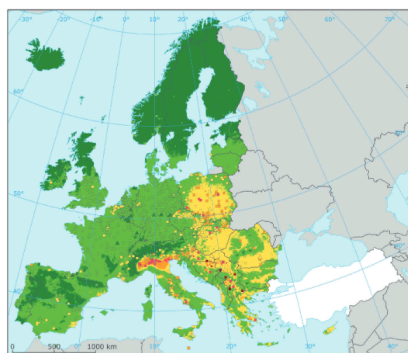
- ≤ 5 µg·m⁻³
- 5–10 µg·m⁻³ (5 = doporučená hodnota WHO)
- 10–15 µg·m⁻³
- 15–20 µg·m⁻³
- 20–25 µg·m⁻³ (20 = orientační limit)
- > 25 µg·m⁻³ (25 = imisní limit)
- území mimo mapovanou oblast
- nejdou dostupná data
- △ venkovská pozadová stanice
- městská či předměstská pozadová stanice
- městská či předměstská dopravní stanice

Obr. VIII.4 Pole průměrné roční koncentrace PM_{2.5} v Evropě, 2021

Zdroj: <http://chmi.cz>

86

Pevné částice PM - stav v EU



Suspendované částice PM_{2.5}
Roční průměr
Rok: 2023
Předběžná mapa
Kombinovaná venkovská a městská mapa
Rozlišení: 1 km

- ≤ 5 µg·m⁻³
- 5–10 µg·m⁻³ (5 = doporučená hodnota WHO)
- 10–15 µg·m⁻³
- 15–20 µg·m⁻³
- 20–25 µg·m⁻³ (20 = orientační limit)
- > 25 µg·m⁻³ (25 = imisní limit)
- území mimo mapovanou oblast
- nejdou dostupná data
- △ venkovská pozadová stanice
- městská či předměstská pozadová stanice
- městská či předměstská dopravní stanice

Obr. VIII.4 Pole průměrné roční koncentrace PM_{2.5} v Evropě, 2023, předběžná mapa

Zdroj: <http://chmi.cz>

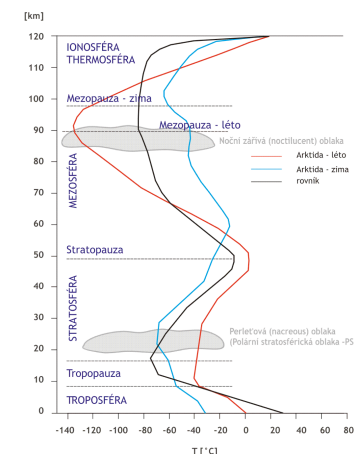
87

Atmosféra - vrstvy zemské atmosféry

- atmosféra je **dle průběhu teploty** rozdělena do pěti základních vrstev.

1) **troposféra**: Vrstva atmosféry přiléhající k zemskému povrchu. Obsahuje polovinu atmosférické hmoty. Oblast **turbulence, prachu, vlhkosti a počasí**. Do výšky cca 8 km (polární oblasti) až cca 17 km (rovník). Vyskytuje se zde mezní vrstva. Typický **pokles teploty s výškou**.

2) **stratosféra**: Oblast nad troposférou do výšky cca 50 km. Stabilitní oblast, obsahuje tzv. **ozonosféru**. Typický **vzrůst teploty s výškou**.



88

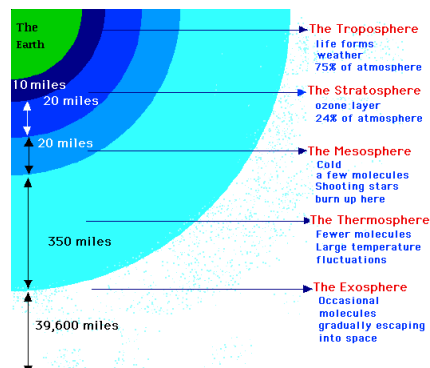
Atmosféra - vrstvy zemské atmosféry

- Atmosféra je **dle průběhu teploty** rozdělena do pěti základních vrstev.

3) **mezosféra**: sahá od 50 km až do výšky kolem 80/85 km. Teplota zde s přibývajícím vzdáleností od zemského povrchu klesá, až na cca -100°C . Nacházejí se zde také tzv. polární mezoférická oblaka.

4) **termosféra**: dosahuje až do výšky 500 km, ale někteří autoři ji umísťují až do výšky okolo 700 km. Teplota zde díky slunečnímu záření s přibývajícím vzdáleností od zemského povrchu stoupá až na cca $1\,400^{\circ}\text{C}$.

5) **exosféra**: jedná se o okrajovou vrstvu pozemské atmosféry. Za horní hranici exosféry se považuje 20 000 až 35 000 kilometrů nad zemským povrchem. V této oblasti se nacházejí převážně volné atomy vodíku a helia, na které již nepůsobí takovou silou gravitace, což má za následek, že částice mohou uniknout do okolního volného prostoru a vymanit se z gravitačního sevření planety.



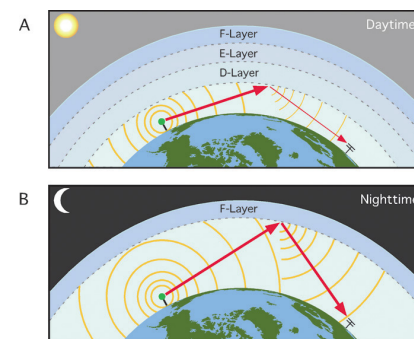
89

Atmosféra - vrstvy zemské atmosféry

- atmosféra je **dle elektrických vlastností** dělena na dvě vrstvy

1) **neutrosféra** - část atmosféry od zemského povrchu do výše asi 60 km, v níž ionizace molekul vzduchu je tak malá, že vzduch lze považovat za **elektricky nevodivé prostředí**, molekuly elektricky neutrální a nepůsobí odraz rádiových vln. Od ionosféry je oddělena **neutropauzou**.

2) **ionosféra** - elektricky vodivá atmosférická vrstva a zasahuje do výšky až 500 km. Ionosféra je významná například z hlediska přenosu rádiových vln



90

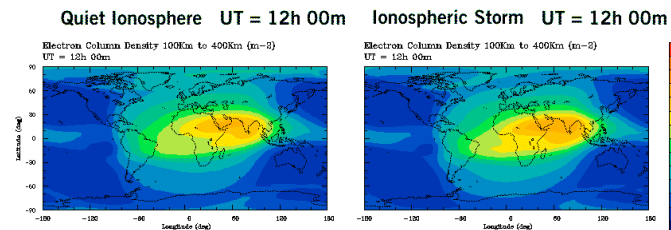
Atmosféra - vrstvy zemské atmosféry

- atmosféra je **dle elektrických vlastností** dělena na dvě vrstvy

2) **ionosféra** - ionosférické bouře v F vrstvě - turbulence zapříčiněné zvýšeným elektronovým tokem od Slunce, spojené i s blesky a výpadky proudu, oblast tzv. space weather

<http://radiojove.gsfc.nasa.gov/education/educ/radio/tran-rec/exerc/iono.htm>

<http://iono.jpl.nasa.gov/gim.html>



91

Atmosféra - vrstvy zemské atmosféry

- atmosféra **dle promíchání vzduchu**

1) **homosféra** - část atmosféry, v níž se podstatně nemění objemové zastoupení plynů, homosféra zasahuje do výšky kolem 90 km. **Atomy a molekuly jsou díky turbulentním promíchání** a rovnoměrně zastoupeny, od heterosféry oddělena homopauzou.

2) **heterosféra** - atomy a molekuly jsou zde zastoupeny podle své poměrné hmotnosti. Čím výše, tím více převládají atomy a lehké prvky. S rostoucí výškou se postupně mění převládající zastoupení. Ve spodní části heterosféry převládají ještě molekuly, výše pak atomy a jejich příslušné ionty

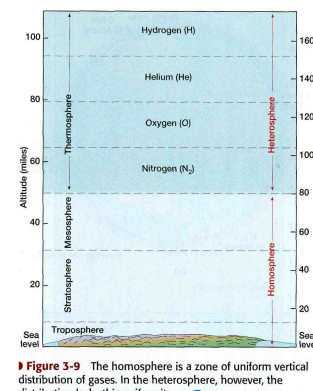
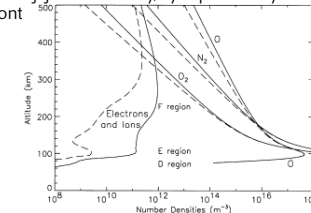


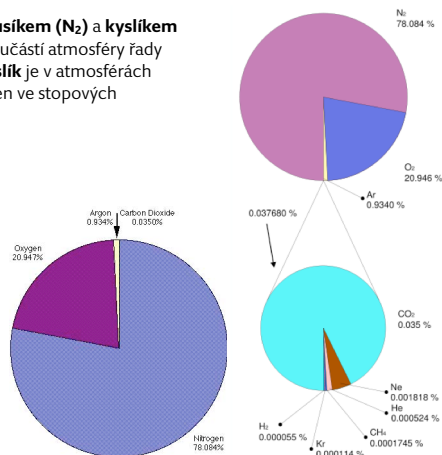
Figure 3-9 The homosphere is a zone of uniform vertical distribution of gases. In the heterosphere, however, the distribution lacks this uniformity.

92

Složení atmosféry

- zhruba 99% objemu atmosféry je tvořeno **dusíkem (N₂)** a **kyslíkem (O₂)**. Zatímco dusík je poměrně obvyklou součástí atmosféry řady planet a měsíců sluneční soustavy, **volný kyslík** je v atmosférách ostatních těles sluneční soustavy přítomen jen ve stopových množstvích

- hlavní plyny v atmosféře jsou **dusík N₂** (78,04 %), **kyslík O₂** (20,95 %), **argon Ar** (0,93 %) a **oxid uhličitý CO₂** (2003: 0,0376 %; 1968: 0,03 %; 1800: 0,028 %)



93

Složení atmosféry

*hodnoty před 1750

**http://cdiac.ornl.gov/pns/current_ghg.html

Plyn	Koncentrace (ppm)	Koncentrace (%)
(N ₂)	780	78,09
(O ₂)	209,5	20,95
(Ar)	9,3	0,93
(CO ₂)	395** (280*)	0,0395**
(Ne)	18	0,0018
(He)	5,2	0,00052
(CH ₄)	1.827** (0.72*)	0,00018**
(Kr)	1	0,0001
(H ₂)	0,5	0,00005
(N ₂ O)	0,325** (0.2*)	0,0000325
(CO)	0,1	0,00001
(Xe)	0,08	0,000008
(O ₃)	0,02	0,000002
(NH ₃)	6	0,0000001
(NO ₂)	0,001	0,0000001
(NO)	0,0006	0,00000006
(SO ₂)	0,0002	0,00000002
(H ₂ S)	0,0002	0,00000002

94

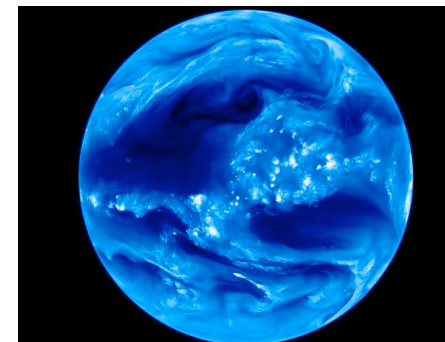
Složení atmosféry

- důležitost plynných příměsí **nezávisí jen na jejich množství**. I plyny relativně málo zastoupené mohou hrát důležitou úlohu, například v rámci interakce atmosféry s elektromagnetickým zářením či jako součást chemických procesů.
- oxid uhličitý (CO₂)** je díky své schopnosti absorbovat infračervené záření nejvýznamnějším **skleníkovým plynem** hned po vodní páře. Zajímavé též může být, že díky rozpustnosti oxidu uhličitého ve vodě (za vzniku slabé kyseliny uhličitě) není dešťová voda **pH** neutrální, ale mírně kyselá. Opomenout nelze ani jeho **biologickou úlohu** jako látky nezbytné pro existenci zelených rostlin a tím i většiny vyššího života na Zemi
- ozon (O₃)** se v pozemské atmosféře vyskytuje jen **ve velmi malých množstvích**, ale jako součást ozonoféry **zabraňuje pronikání krátkovlnných složek UV záření** na zemský povrch. Zároveň ale také vzniká při jistých chemických procesech ve spodních vrstvách atmosféry, kde působí jako **nebezpečná znečišťující látka**

95

Složení atmosféry

- složení atmosféry **není stálé**, s postupem času se mění. Příčiny těchto změn mohou být **přirozené**, třeba vulkanická aktivita nebo činnost biosféry. V posledních několika stovkách let ale sílí i **vliv lidské činnosti**. Dopad zemědělských a průmyslových aktivit se výrazně promítá do koncentrací skleníkových plynů a látek ovlivňujících stav ozonoféry
- velmi důležitou součástí atmosféry je také **voda**, která se v pozemské atmosféře může vyskytovat ve všech třech skupenstvích. Kromě svého významu pro tvorbu oblačnosti a **srážek** a role v **chemických reakcích** v atmosféře je také nejvýznamnějším přispěvatelem ke **skleníkovému efektu**
- vodní pára hraje důležitou roli v transportu energie

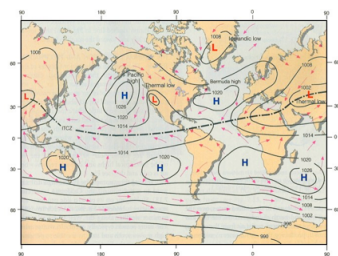


96

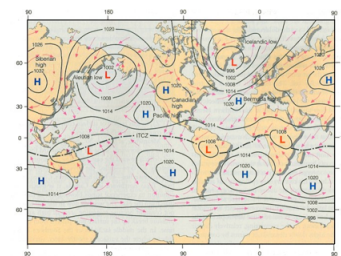
Rozložení proudění, tlaku a teploty při zemském povrchu

- díky vlivu zeměpisné šířky různých lokalit, polohy pevnin a oceánů, umístění horských pásem a nadmořské výšce terénu se v zemské atmosféře vytváří **určitý pravidelný vzor proudění** a prostorového rozdělení teploty a tlaku.

průměrné rozložení tlaku v létě



průměrné rozložení tlaku v zimě



97

Rozložení proudění, tlaku a teploty při zemském povrchu

- nerovnoměrné prohřívání vede ke vzniku gradientu teploty, resp. tlaku
- zároveň tendence vyrovnat rozdíly tlaku + působící síly (zejména Coriolisova síla)
- G. Hadley (1775):
 - na rovníku vzestup teplého a vlhkého vzduchu, rozpinání, ochlazení, kondenzace (ITCZ, SPCZ)
 - posun směrem k pólům, pokles v subtropích, komprese, oteplení, vysušení (oblasti pouští)
- cirkulační buňky

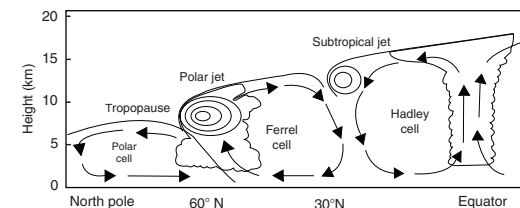


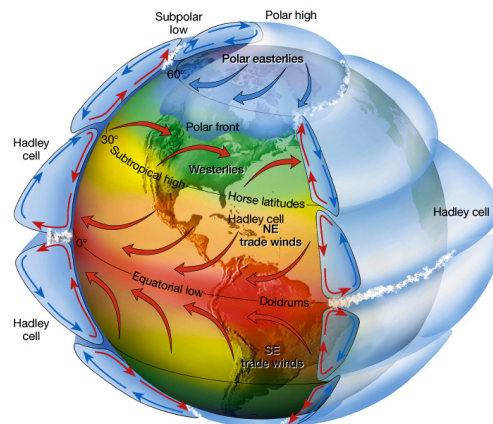
Fig. 1.15 Positions of jet streams in the meridional circulation (adapted from National Weather Service, NOAA)

zdroj: Mohanakumar, 2008

98

Rozložení proudění, tlaku a teploty při zemském povrchu

- na rovníku vzestup teplého a vlhkého vzduchu, rozpinání, ochlazení, kondenzace (ITCZ, SPCZ)
- posun směrem k pólům, pokles v subtropích, komprese, oteplení, vysušení (oblasti pouští)



99

Rozložení proudění, tlaku a teploty při zemském povrchu

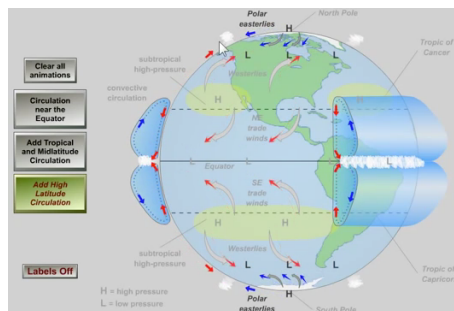
- <https://www.youtube.com/watch?v=qh011eAYjAA>



100

Rozložení proudění, tlaku a teploty při zemském povrchu

- nerovnoměrné prohřívání vede ke vzniku gradientu teploty, resp. tlaku
- Hadleyho cirkulace
- <https://www.youtube.com/watch?v=fuw8wOhAjOg>
- http://www.atmosedu.com/meteor/Animations/56_General_Circulation/56.html



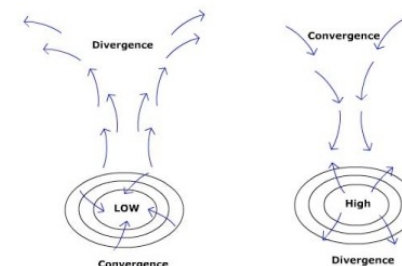
zdroj: <https://www.youtube.com/watch?v=Ye6SDGkqU8E>

101

Tlakové útvary a fronty středních zeměpisných šířek

- v tropických oblastech je tlakové a teplotní pole poměrně málo proměnlivé
- **pro mírné zeměpisné šířky** je typický **výskyt pohyblivých cyklon a anticyklon**, to je příčinou vysoké proměnlivosti a relativně špatné předpověditelnosti počasí
- pro popis dynamiky atmosféry v mírných šířkách a předpověď jejího budoucího chování byla již v první polovině 20. století vytvořena propracovaná teorie založená na empirických poznatcích synoptické meteorologie

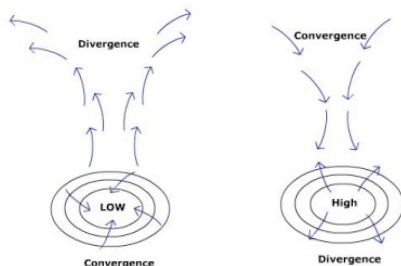
- **tlaková níže** (cyklona) - nižší tlak, vzestupné pohyby, rozpínání vzduchu, ochlazování a kondenzace vodních par
- **tlaková výše** (anticyklona) - vyšší tlak, sestupné pohyby, komprese vzduchu, oteplování a vysychání vzduchu



102

Tlakové útvary a rozptyl znečištění

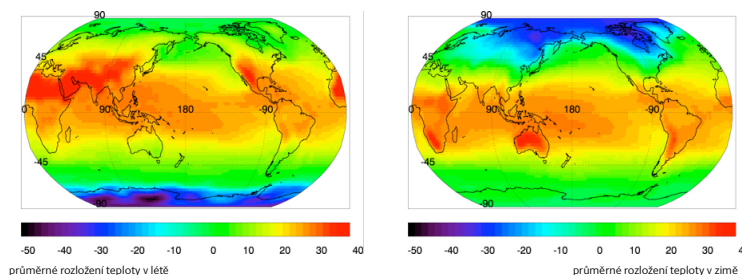
- pole atmosférického tlaku **ovlivňuje podmínky pro rozptyl znečišťujících příměsí** především působením vertikálních vzduchových proudů
- pro rozptyl znečišťujících příměsí jednoznačně **příznivější situace cyklonální**, kdy dochází vlivem vzestupných pohybů k intenzivnímu vertikálnímu promíchávání
- sestupné proudy vyskytující při **situaci anticyklonální** udržují znečišťující příměsí v blízkosti zemského povrchu



103

Rozložení proudění, tlaku a teploty při zemském povrchu

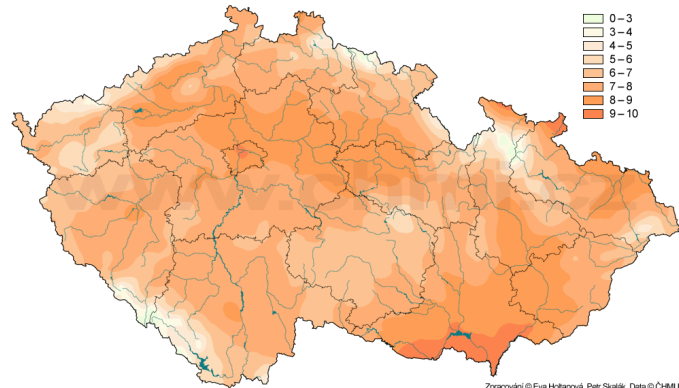
- **prostorové rozložení průměrných teplot** je ještě složitější než u tlaků, protože do hry vstupuje velmi výrazně **nadmořská výška** stanoviště, **tvar terénu** a **charakter povrchu**
- důležitá je také **vzdálenost od oceánu** a vliv oceánského proudění



104

Rozložení proudění, tlaku a teploty při zemském povrchu

Průměrná roční teplota vzduchu za období 1961–1990 [°C]



Zdroj: <http://chmi.cz>

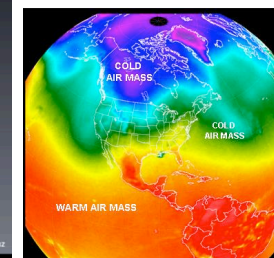
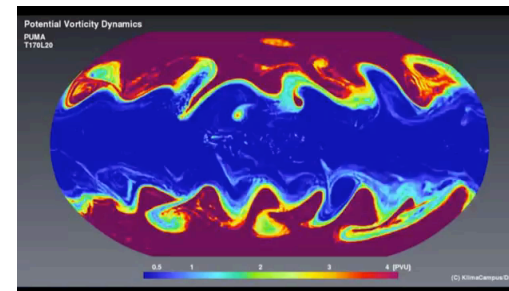
Zpracování © Eva Holanová, Petr Skalák. Data © ČHMÚ

105

Tlakové útvary a fronty středních zeměpisných šířek

- mezi další základní pojmy klasické synoptické meteorologie patří **vzduchová hmota** (rozsáhlá masa vzduchu určitých vlastností, charakterizovaná mimo jiné svou teplotou a vlhkostí)
- velmi důležité je chování atmosféry v oblastech, kde spolu sousedí dvě různé vzduchové hmoty
- taková rozhraní se označují jako **atmosférické fronty**

zdroj: <http://www.youtube.com/watch?v=FCCmPw1Nuuk>



106

Atmosférické fronty

- **teplá vzduchová hmota** (ta, která se při postupu nad daným územím stále ochlazuje)
- **studená vzduchová hmota** (ta, která se při postupu nad daným územím otepluje)
- pokud v zemské atmosféře proti sobě stojí **dvě různé vzduchové hmoty**, uvnitř vzduchových hmot se počasí téměř nemění a **v místě jejich kontaktu** je naopak velmi složitá povětrnostní situace (srážky, oblačnost, bouřky, mlhy, vítr)
- **atmosférická fronta** je rozhraní, které odděluje dvě vzduchové hmoty různých fyzikálních vlastností
- fronta může být poměrně **úzká (několik set metrů)** a **dlouhá až stovky kilometrů**, fronty mají svůj vývoj (vznikají, zesilují se, přemísťují se, slábnou a zanikají)
- jedna a táž vzduchová hmota může na své cestě **vystupovat střídavě** jako fronta teplá či studená (záleží na tom, s jakou okolní vzduchovou hmotou přichází do kontaktu)

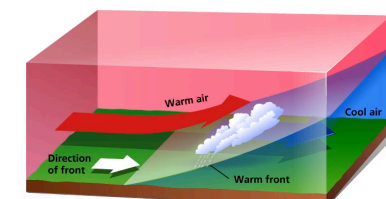
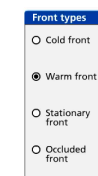
107

Atmosférické fronty

- **teplá fronta**, kdy masa teplejšího vzduchu před sebou tlačí vzduch chladnější
- **teplý vzduch** se nasouvá na vzduch studený, **stoupá vzhůru, rozpíná se a ochlazuje se**, při tom se postupně **sytlí vodními parami** až do stavu nasycení
- http://www.phschool.com/atschool/phsciexp/active_art/weather_fronts/



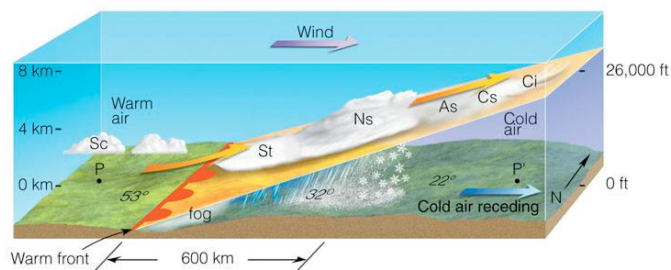
Warm Fronts
At a warm front, a slowly moving warm air mass collides with a slowly moving cold air mass. Because cold air is denser than warm air, the warm air rises over the cold air. Clouds, storms, and rain often accompany warm fronts. If the warm air is dry, scattered clouds form. If the warm air is humid, showers



108

Atmosférické fronty

- oblačnost před čarou fronty, tedy místem, kde se frontální plocha setkává se zemí, **zasahuje i více než 1000 km dopředu**
- zpočátku se projevuje jen průsvitnou **cirrovitou oblačností**, která však s přiblížující se čarou fronty **houstne**, nabývá na vertikální mohutnosti, **postupně se objevují i padající srážky** a nakonec dosahuje základna dešťových oblaků prakticky až na zem, zatímco vršky oblaků mohou být na hranici troposféry



109

Atmosférické fronty

- **studená fronta**, kdy chladnější vzduch zatlačuje vzduch teplejší
- studený vzduch postupuje rychleji, než před ním se nacházející vzduch teplý, studený vzduch se **podouvá jako klín** pod ustupující teplý vzduch
- teplý vzduch vystupuje podél frontálního rozhraní vzhůru, teplý vzduch se opět rozpiná, ochlazuje a tím **zavdává příčinu k tvorbě oblačnosti**

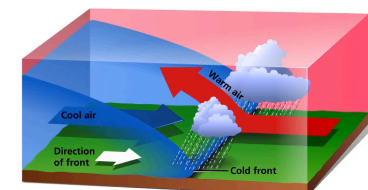
www.phschool.com/atschool/phscieexp/active_art/weather_fronts/

Weather Fronts

Cold Fronts

A cold front occurs when a rapidly moving cold air mass runs into a slowly moving warm air mass. Because cold air is denser than warm air, the cold air mass remains close to the ground and sinks under the less dense warm air mass. As the warm air rises above the cold air, the warm air cools. It soon chills to the temperature

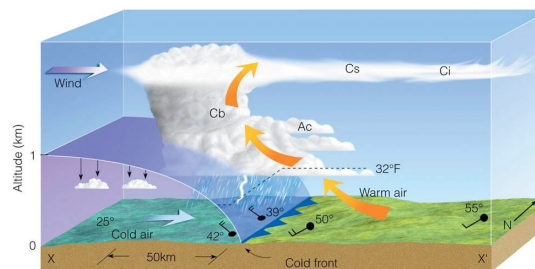
Front types
☒ Cold front
☐ Warm front
☐ Stationary front
☐ Occluded front



110

Atmosférické fronty

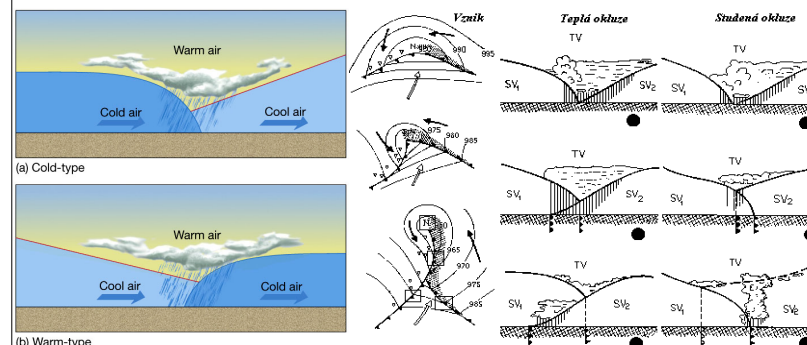
- studený vzduch se tlačí kupředu a po jeho přední části je teplejší vzduch vytlačován vzhůru. Takový vertikální pohyb má za následek **vznik vertikálně mohutné kupovité oblačnosti** a příchod studené fronty vypadá jako náhlá změna počasí.
- **před frontou** v létě často panuje horké, jasné počasí, pak přichází čelo fronty s bouřkami, náhlým zatažením oblohy a nástupem srážek, silného větru, špatné dohlednosti a ochlazení.
- **pás oblačnosti** studené fronty nemusí být příliš široký, často je to **jen několik desítek km**.
- na čele fronty se objevují **četné bouřky**, za frontou může být souvisle zataženo s deštěm, ale **brzy se oblačnost protrhává** a trvalé srážky přecházejí do přeháněk.



111

Atmosférické fronty

- Pohyb **studených** front je v průměru **rychlejší** než front teplejších. Pokud studená fronta dožene frontu teplou, dojde k jejich splynutí a **vytlačení teplého vzduchu** do vyšších vrstev atmosféry. Vzniklý útvar se označuje jako **okluzní fronta** či **okluze**



112

Atmosférické fronty

- Pohyb **studených** front je v průměru **rychlejší** než front teplých. Pokud studená fronta dožene frontu teplou, dojde k jejich splnutí a **vytlačení teplého vzduchu** do vyšších vrstev atmosféry. Vzniklý útvar se označuje jako **okluzní fronta** či **okluze**

• www.phschool.com/atschool/phscieap/active_art/weather_fronts/



Weather Fronts

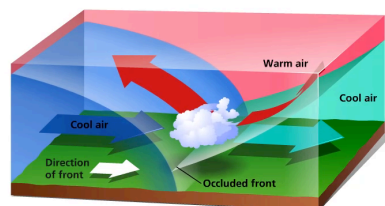
Occluded Fronts

The most complex weather situation occurs at an occluded front. At an occluded front, a warm air mass is caught between two cooler air masses. The denser cool air masses move underneath the less dense warm air mass and push it upward. The two cooler air masses meet in the middle and may mix. The temperature

A A

Front types

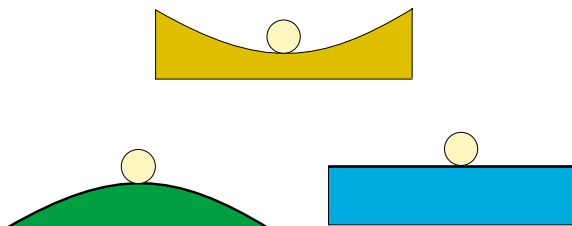
- ☐ Cold front
- ☐ Warm front
- ☐ Stationary front
- ☒ Occluded front



113

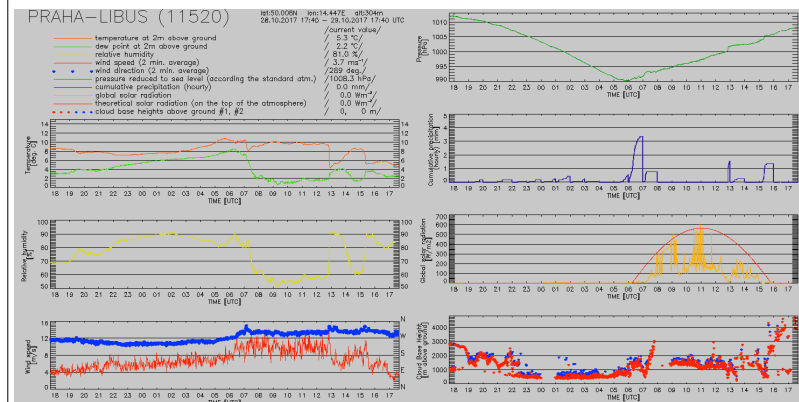
Stabilitní podmínky v atmosféře

- ovlivnění rozvoje **vertikálních pohybů** a promíchávání vzduchu
- vliv na koncentrace znečištění
- rozlišení **stabilního**, **nestabilního** (instabilního, labilního) a **indiferentního** (neutrálního) stavu



115

Atmosférické fronty



114

Stabilitní podmínky v atmosféře - gradienty teploty

- stabilita atmosféry** (a tedy tendence k rozvoji vertikálních pohybů) obecně souvisí s **vertikálním gradientem teploty** - zápornou změnou teploty připadající na jednotkovou vzdálenost ve vertikálním směru v klidném vzduchu
- při **adiabatickém vertikálním přesunu** vzduchové částice (tj. bez výměny tepla s okolím) dojde k **změně její teploty** - nárůstu v důsledku stlačení při pohybu sestupném, resp. poklesu rozpínáním při vzestupném pohybu
- tato změna teploty je v případě suchého vzduchu nazývána **sucho-adiabatickým gradientem**

$$\gamma_a = -\frac{dT}{dz}$$

- v případě nasyceného vzduchu se jedná o tzv. **nasyceně-adiabatický gradient**

116

Stabilitní podmínky v atmosféře - gradienty teploty

- hodnotu sucho-adiabatického gradientu lze odvodit **z obecných termodynamických vztahů**
- na základě **1. věty termodynamické** lze chování částice vzduchu obecně charakterizovat jako

$$dQ = pd\alpha + c_v dT \quad \alpha = \frac{1}{\rho}$$

- α je měrný objem, c_v je měrné teplo vzduchu za konstantního objemu
- rovnice vyjadřuje **bilanci tepelné energie dQ** dodané vzduchové částici – část se projeví zvýšením vnitřní energie $dU = c_v dT$ (což je reprezentováno **zvýšením teploty**) a část je přeměněna na práci a projeví se **zvětšením objemu** částice (za daného tlaku) $p d\alpha$
- pro adiabaticky izolovanou částici nabývá vztah popisující její chování tvaru

$$pd\alpha + c_v dT = 0$$

- zároveň pro ideální plyny platí **stavová rovnice** $p\alpha = RT$

117

Stabilitní podmínky v atmosféře - gradienty teploty

- zároveň pro ideální plyny platí **stavová rovnice** $p\alpha = RT$
- tuto rovnici lze jednoduše diferencovat do tvaru $p d\alpha + \alpha dp = R dT$
- sloučením s rovnicí 1. věty termodynamické pro adiabatické děje dostaneme

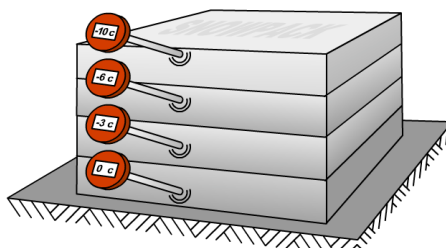
$$\alpha dp = (R + c_v) dT = c_p dT$$

- kde c_p je měrné teplo vzduchu za konstantního tlaku
- dále využijeme **rovnice hydrostatické rovnováhy** $\frac{dp}{dz} = -\rho g = -\frac{g}{\alpha}$
- dalším sloučením s již získaným vztahem dostáváme $\gamma_a = \frac{dT}{dz} = \frac{g}{c_p}$

118

Stabilitní podmínky v atmosféře - gradienty teploty

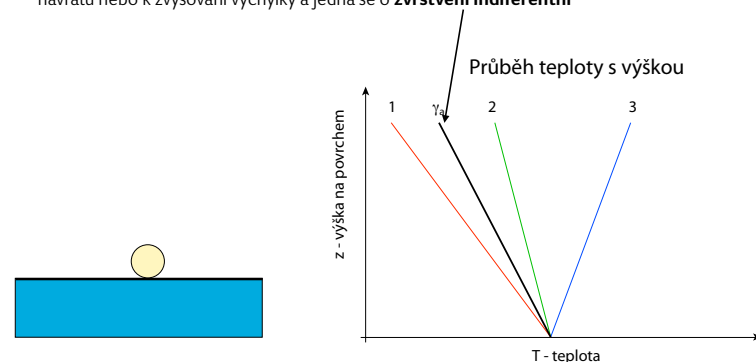
- hodnota **sucho-adiabatického** gradientu je $\gamma_a = 0,98^\circ\text{C na } 100 \text{ metrů}$ výšky
- tato hodnota je platná i pro **vlhký, ale nenasyčený** vzduch, neboť vliv nenasyčené vodní páry na měrné teplo vzduchu je velmi malý
- **ve vzduchu nasyceném** vodní párou však nelze zanedbat kondenzační teplo, které hodnotu adiabatického gradientu teploty snižuje $\gamma_s \approx 0,65^\circ\text{C na } 100 \text{ metrů}$ výšky



119

Stabilitní podmínky v atmosféře - gradienty teploty

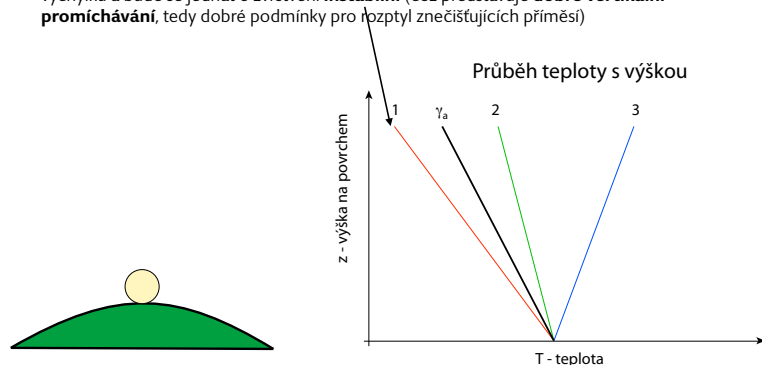
- při situaci, kdy **vertikální profil teploty γ_a odpovídá sucho-adiabatickému gradientu** (černá křivka γ_a), nejví vzduchová částice vychýlená ze své původní výškové hladiny tendenci k návratu nebo k zvyšování výšky a jedná se o **zvrstvení indiferentní**



120

Stabilitní podmínky v atmosféře - gradienty teploty

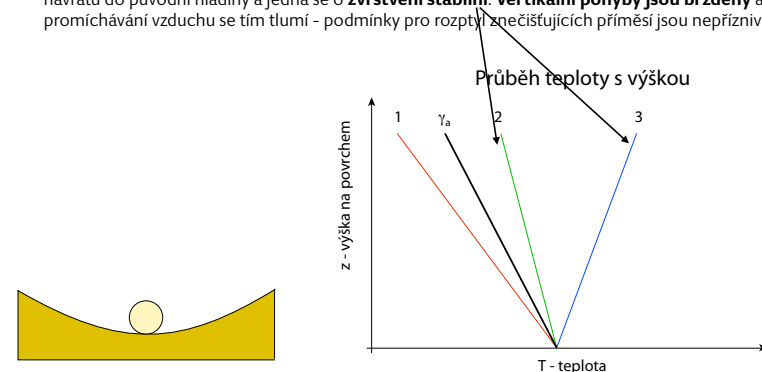
- je-li **vertikální gradient teploty vyšší než sucho-adiabatický** (červená křivka 1), bude mít vychýlená vzduchová částice v důsledku archimédovských sil tendenci dále zvyšovat svoji výšku a bude se jednat o zvrstvení **instabilní** (což představuje **dobré vertikální promíchávání**, tedy dobré podmínky pro rozptyl znečišťujících příměsí)



121

Stabilitní podmínky v atmosféře - gradienty teploty

- v případě, kdy **teplota klesá s výškou pomaleji než odpovídá sucho-adiabatickému gradientu** (nebo se s výškou nemění - **izotermie** anebo roste - tj. záporný vertikální gradient - **teplotní inverze**, zelená a modrá křivka 2 a 3), vykazuje vychýlená vzduchová částice snahu k návratu do původní hladiny a jedná se o **zvrstvení stabilní**. **Vertikální pohyby jsou bržděny** a promíchávání vzduchu se tím tlumí - podmínky pro rozptyl znečišťujících příměsí jsou nepříznivé



122

Rozptylové podmínky podle stabilitní klasifikace Bubníka a Koldovského

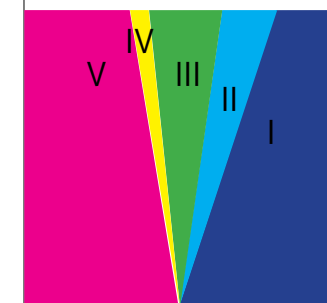
- pět tříd** stability s rozdílnými rozptylovými podmínkami (tři třídy stabilní, jednu třídu normální a jednu třídu nestabilní), v zahraniční literatuře klasifikace Pasquillova (viz [wiki-Pasquill](#))
- v I. třídě stability** (superstabilní) s **vertikálními teplotními gradienty** menšími než **-1.6 °C na 100 m** je **rozptyl znečišťujících látek** v ovzduší **velmi malý** nebo téměř žádný - znečišťující látky se i ve viditelné formě šíří na velké vzdálenosti (koncentrace při zemi jsou nízké a ve vlečce velmi vysoké)
- ve II. třídě stability** (stabilní) s vertikálními teplotními gradienty od **-1.6 °C do -0.7 °C na 100 m** jsou rozptylové podmínky stále nepříznivé, i když lepší než v I. třídě stability



123

Rozptylové podmínky podle stabilitní klasifikace Bubníka a Koldovského

- pět tříd** stability s rozdílnými rozptylovými podmínkami (tři třídy stabilní, jednu třídu normální a jednu třídu nestabilní), v zahraniční literatuře klasifikace Pasquillova (viz [wiki-Pasquill](#))
- ve III. třídě stability** (izotermní) s vertikálními teplotními gradienty od **-0.6 do 0.5 °C na 100 m** (vertikální teplotní gradient se pohybuje kolem nuly, teplota s výškou se mění jen málo) se rozptylové podmínky oproti I. a II. třídě vylepšují, jedná se o přechodovou třídu stability mezi stabilními třídami a třídou normální



124

Rozptylové podmínky podle stabilitní klasifikace Bubníka a Koldovského

- ve **IV. třídě stability** (normální) s vertikálními teplotními gradienty **od 0.6 °C do 0.8 °C na 100 m** jsou **rozptylové podmínky dobré**. Tato třída stability se v atmosféře vyskytuje nejčastěji, proto se také nazývá normální třída
- v **V. třídě stability** (konvektivní) jsou sice **nejlepší rozptylové podmínky** (vertikální teplotní gradient je **větší než 0.8 °C na 100 m**), ale v důsledku intenzivních vertikálních konvektivních pohybů se mohou vyskytnout v malých vzdálenostech od zdroje **nárazově vysoké koncentrace znečištění**
- tato typizace předpokládá, že v celé vrstvě, kde dochází k rozptylu znečišťujících látek, je konstantní vertikální teplotní gradient od zemského povrchu

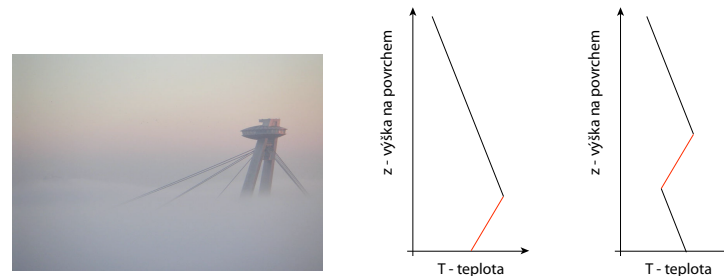


125

Stabilitní podmínky v atmosféře - teplotní inverze

- vzrůst výšky s teplotou, nejstabilnější typ atmosférického zvrstvení
- omezení vertikálního promíchávání a prostorového rozptylu znečištění
- reprezentuje nejméně příznivou situaci pro rozptyl znečišťujících příměsí
- **přízemní a výškové** inverze
- další dělení dle mechanismu vzniku

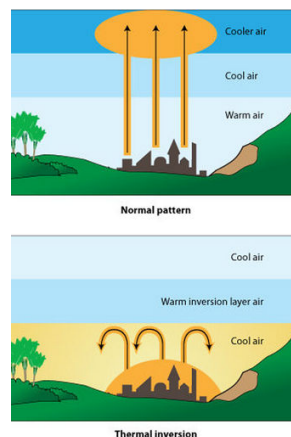
Přízemní a výšková inverze



126

Stabilitní podmínky v atmosféře - teplotní inverze

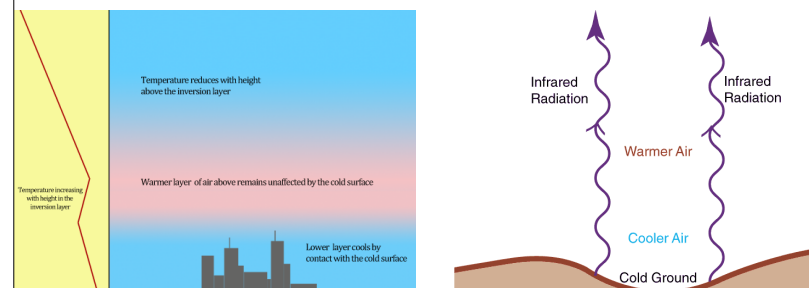
- vzrůst výšky s teplotou, nejstabilnější typ atmosférického zvrstvení
- omezení vertikálního promíchávání a prostorového rozptylu znečištění
- **radiační inverze** - radiační ochlazování povrchu, především v zimě, přízemní i výškové
- **advektivní inverze** - advekce relativně teplého vzduchu na procházený povrch, především v zimě při proudění oceánského vzduchu
- **frontální inverze** - na frontálním rozhraní, u teplé fronty při nasouvání relativně teplého vzduchu na studený vzduch
- **subsidenční inverze** - v tlakové výši, při sesedání (subsidence) vzduchu, především výškové inverze, na povrchu zanikají
- **turbulentní inverze** - nemohutné výškové inverze, při intenzivním turbulentním promíchávání vzduchu



127

Stabilitní podmínky v atmosféře - teplotní inverze

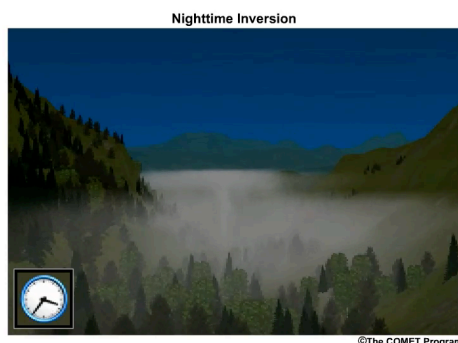
- **radiační inverze** - radiační ochlazování povrchu, především v zimě, přízemní i výškové
- povrch a přízemní vrstva vzduchu se ochlazuje díky tepelnému vyzařování
- případně takto vyzařuje vrstva vzduchu ve výšce



128

Stabilitní podmínky v atmosféře - teplotní inverze

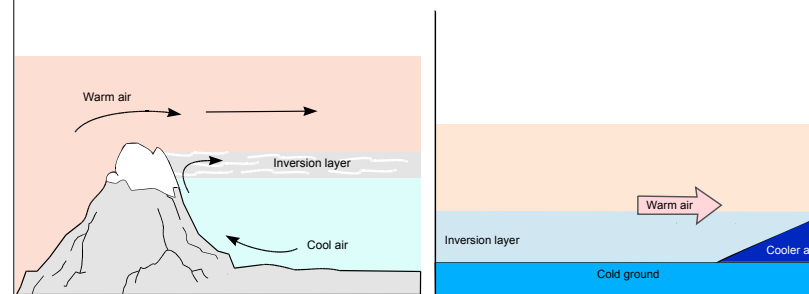
- **rozpuštění noční inverze** - radiční ochlazování povrchu je převáženo ohřátím díky dopadu slunečního záření
- <http://www.meted.ucar.edu/fire/s290/unit6/>



129

Stabilitní podmínky v atmosféře - teplotní inverze

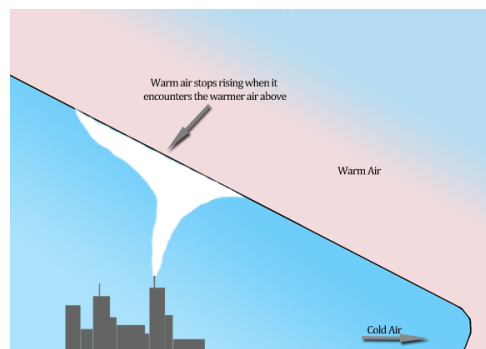
- **advekční inverze** - advekce relativně teplého vzduchu na prochlazený povrch, především v zimě při proudění oceánského vzduchu
- vrstva u povrchu se prochlazuje a vzniká tak inverzní zvrstvení teploty



130

Stabilitní podmínky v atmosféře - teplotní inverze

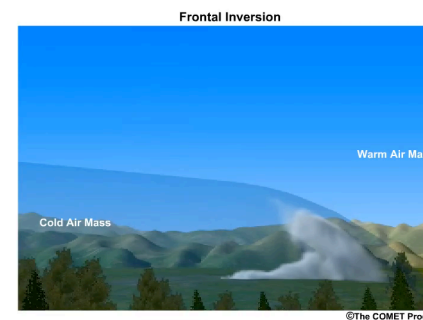
- **frontální inverze** - na frontálním rozhraní, u teplé fronty při nasouvání relativně teplého vzduchu na studený vzduch, u studené podsouvání studeného vzduchu pod teplý
- vzniká tak zvrstvení, kdy chladnější vzduch leží pod vrstvou vzduchu teplejšího



131

Stabilitní podmínky v atmosféře - teplotní inverze

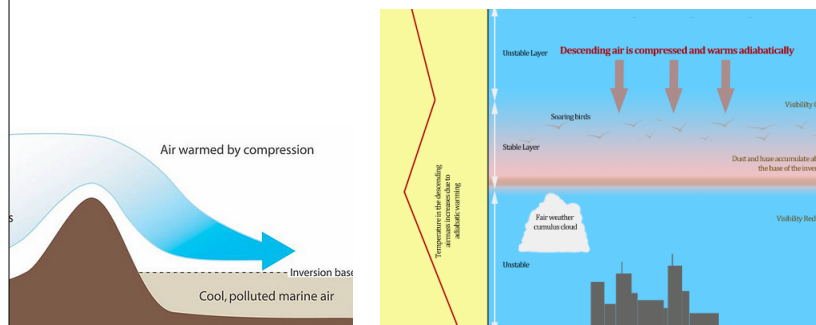
- **frontální inverze** - na frontálním rozhraní, u teplé fronty při nasouvání relativně teplého vzduchu na studený vzduch, u studené podsouvání studeného vzduchu pod teplý
- vzniká tak zvrstvení, kdy chladnější vzduch leží pod vrstvou vzduchu teplejšího
- <http://www.meted.ucar.edu/fire/s290/unit6/>



132

Stabilitní podmínky v atmosféře - teplotní inverze

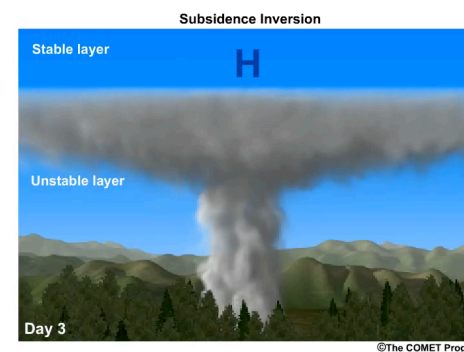
- **subsidenční inverze** - v tlakové výši, při sesedání (subsidence) vzduchu, především výškové inverze, na povrchu zanikají
- při sesedání dochází ke kompresi vzduchu a tím i k zvýšení jeho teploty



133

Stabilitní podmínky v atmosféře - teplotní inverze

- **subsidenční inverze** - v tlakové výši, při sesedání (subsidence) vzduchu, především výškové inverze, na povrchu zanikají, při sesedání dochází ke kompresi vzduchu a k zvýšení teploty
- <http://www.meted.ucar.edu/fire/s290/unit6/>



134

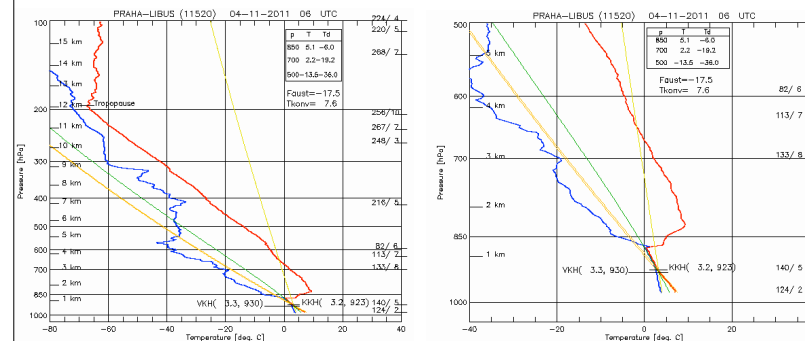
Stabilitní podmínky v atmosféře - teplotní inverze



135

Stabilitní podmínky v atmosféře - reálný profil

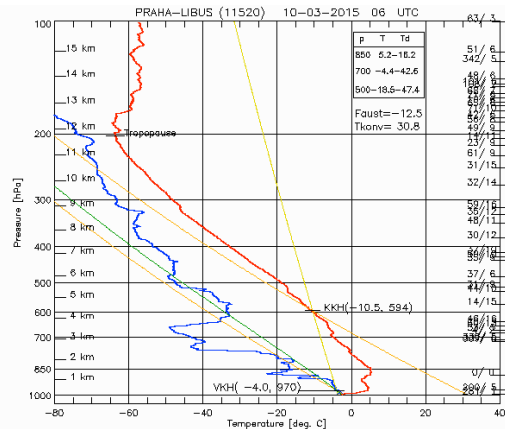
- zdroj <http://chmi.cz> - Aktuální situace >> Aktuální stav počasí >> Česká republika >> Sondážní měření >> Sondážní měření Praha Libuš



136

Stabilitní podmínky v atmosféře - reálný profil

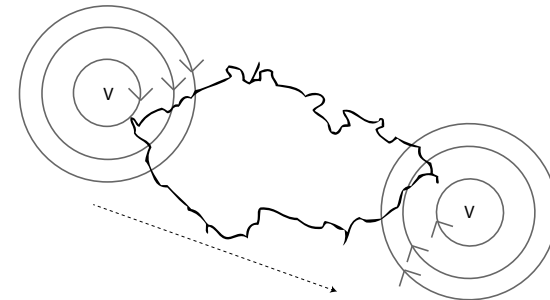
- zdroj <http://chmi.cz> - Aktuální situace >> Aktuální stav počasí >> Česká republika >> Sondážní měření >> Sondážní měření Praha Libuš



137

Typizace špatných rozptylových podmínek v zimě I

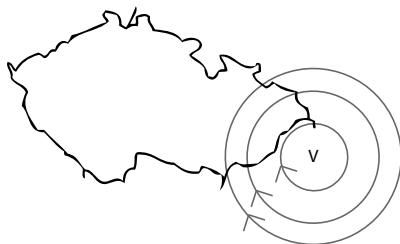
- přechod tlakové výše** - studený vzduch od severu zaplní českou kotlinu a následně se nad tento vzduch nasune teplý vzduch od jihu - **vznik teplotní inverze**



138

Typizace špatných rozptylových podmínek v zimě II

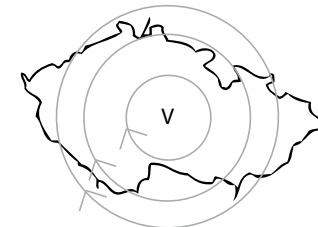
- českou kotlinu **zaplní prochlazený a extrémně stabilní** kontinentální vzduch



139

Typizace špatných rozptylových podmínek v zimě III

- nad územím **setrvává stabilní oblast tlakové výše** - sestupné pohyby, stabilita, **teplotní inverze**



140

Stabilitní podmínky a kouřové vlečky



141

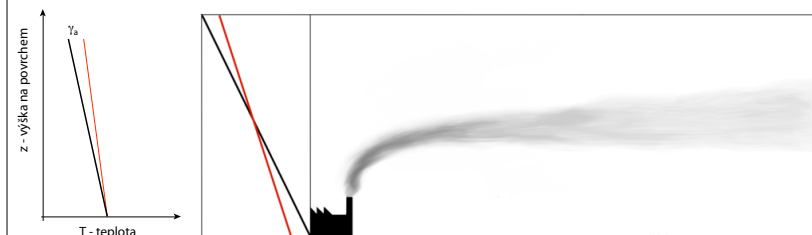
Stabilitní podmínky a kouřové vlečky

- **vlnění (coning)** kouřové vlečky se zpravidla vyskytuje za mírného až čerstvého větru při normálním nebo **mírně stabilním teplotním zvrstvení**
- **čeření (fanning)** kouřových vleček se pozoruje při mírném proudění a přítomnosti vrstvy se stabilním teplotním zvrstvením (zpravidla **teplotní inverzí**), sahající do dostatečné výšky nad horizontální osu kouřové vlečky
- **unášení (lofting)** vleček vzniká při výskytu **přízemní inverze teploty**, jejíž horní **hranice se nalézá níže** než vrstva, v níž se šíří kouřová vlečka
- **zadýmování** se objevuje tehdy, jestliže vertikálně dostatečně **mohutná vrstva se stabilním zvrstvením** (zpravidla noční přízemní inverze) **se postupně ohřívá** od zemského povrchu a zvrstvení v její **spodní části** se postupně mění na **normální až labilní**
- **zadržování (odrážení, trapping)** je vzhledově podobné zadýmování, liší se však hlavně způsobem vzniku a dobou trvání - zádržná vrstva se může nalézat dosti vysoko nad zdrojem a je tvořena teplotní inverzí **subsidenčního nebo advektivního původu**. Zvrstvení pod zádržnou vrstvou je na rozdíl od zadýmování stabilnější
- **přemetání (looping)** kouřových vleček lze pozorovat zejména **při slabším větru za labilního zvrstvení** (typické za slunných horkých dnů, kdy se vzduch v blízkosti zemského povrchu silně prohřívá)

142

Stabilitní podmínky a kouřové vlečky - vlnění (coning)

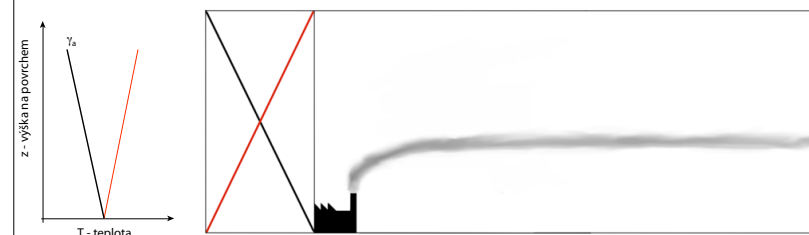
- pro teplé emise ($T > 80^\circ\text{C}$)
- **vlnění (coning)** kouřové vlečky se zpravidla vyskytuje za mírného až čerstvého větru při normálním nebo **mírně stabilním teplotním zvrstvení**. Kouřová vlečka má přibližně tvar protáhlého kužele s horizontální osou, případně se uvnitř takového kužele mírně vlní
- vertikální gradient teploty v rozmezí od sucho-adiabatického po izotermii, mírný až čerstvý vítr



143

Stabilitní podmínky a kouřové vlečky - čeření (fanning)

- **čeření (fanning)** kouřových vleček se pozoruje při mírném proudění a přítomnosti vrstvy se stabilním teplotním zvrstvením (zpravidla **teplotní inverzí**), sahající do dostatečné výšky nad horizontální osu kouřové vlečky
- výskyt této situace je nejčastější v nočních a ranních hodinách, v zimním období za vhodných meteorologických podmínek i po celý den



144

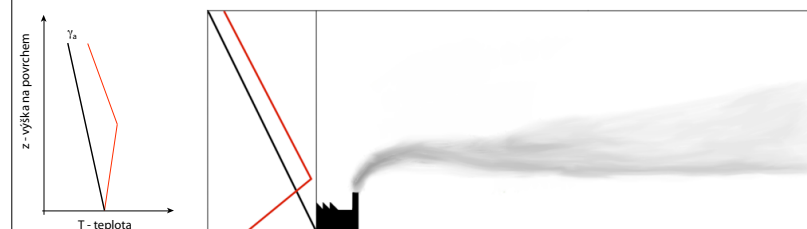
Stabilitní podmínky a kouřové vlečky

- **čechení (fanning)** kouřových vleček se pozoruje při mírném proudění a přítomnosti vrstvy se **stabilním teplotním zvrstvením** (zpravidla teplotní inverzi), sahající do dostatečné výšky nad horizontální osu kouřové vlečky.
- taková situace se vyskytuje hlavně ve **večerních, nočních a časných ranních** hodinách, v zimě mohou tyto podmínky přetrvávat po celý den. **Rozptyl** vlečky ve vertikálním směru je velmi malý, vlečka se rozptyluje hlavně horizontálně a velmi zvolna, takže může být opticky rozlišitelná i velmi daleko od zdroje. pro zdroje s vysokými komíny a velkým tepelným vznosem umístěné v rovinném terénu představuje taková situace, na rozdíl od zdrojů přízemních, poměrně **příznivé rozptylové podmínky**. Znečišťující látky se nedostávají k zemskému povrchu a přízemní koncentrace jsou malé. V členitém terénu, při ustáleném směru proudění, může čechení představovat **nebezpečnou situaci** pro vyvýšená místa v závětrí zdrojů, která mohou být vystavena vysokým koncentracím.
- tato situace se často pozoruje na **svazích Krušných hor** během zimních anticyklonálních situací, kdy převládá proudění z východního či jihovýchodního sektoru.

145

Stabilitní podmínky a kouřové vlečky - unášení (lofting)

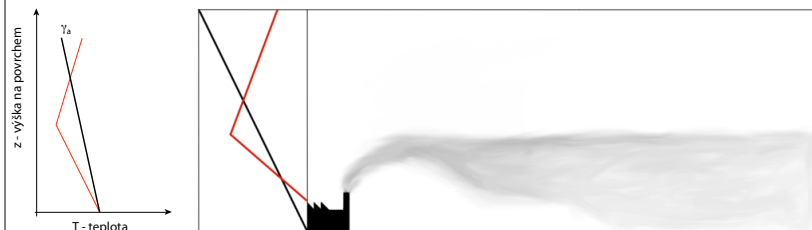
- **unášení (lofting)** vleček vzniká při výskytu **přízemní inverze teploty**, jejíž horní hranice se nalézá níže než vrstva, v níž se šíří kouřová vlečka. Tato se pak rozptyluje v prostoru **nad inverzí** směrem vzhůru a do stran. Přenos znečišťujících látek směrem k zemskému povrchu je blokován inverzní vrstvou a přízemní koncentrace v rovinném terénu v okolí zdroje jsou nepatrné. Podobně jako u předešlého typu se zvýšené koncentrace mohou pozorovat na **vyvýšených tvarech reliéfu v závětrí zdroje**
- v rovinném terénu jde z hlediska výskytu přízemních koncentrací škodlivin o nejpříznivější typ rozptylové situace



146

Stabilitní podmínky a kouřové vlečky - zadýmování (fumigation)

- **zadýmování (fumigation)** představuje pro vysoké zdroje i v rovinném terénu značně **nepříznivou rozptylovou situaci**, při níž lze na zemském povrchu zaznamenat významně vysoké koncentrace znečišťujících látek.



147

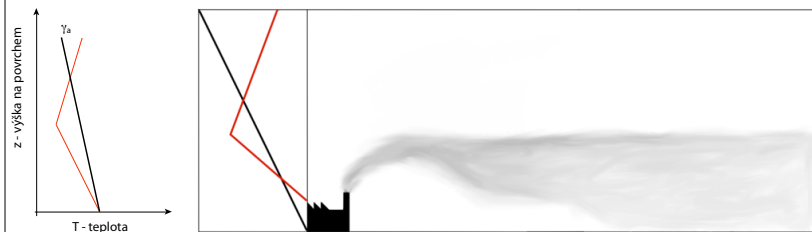
Stabilitní podmínky a kouřové vlečky - zadýmování (fumigation)

- **zadýmování (fumigation)** představuje pro vysoké zdroje i v rovinném terénu značně **nepříznivou rozptylovou situaci**, při níž lze na zemském povrchu zaznamenat významně vysoké koncentrace znečišťujících látek.
- zadýmování se objevuje tehdy, jestliže vertikálně dostatečně **mohutná vrstva se stabilním zvrstvením** (zpravidla noční přízemní inverze) **se postupně ohřívá** od zemského povrchu a zvrstvení v její spodní části se postupně mění na normální až labilní. Dosáhne-li taková prohřátá vrstva úrovně kouřové vlečky, je tato rozptylována mezi zemským povrchem a spodní hranicí dosud nerozrušené stabilní vrstvy. Tato stabilní vrstva **působí jako jakési víko**, které brání přenosu znečištění do vyšších hladin.
- zadýmování se projevuje typickou "spíčkou" znečištění ovzduší **v dopoledních hodinách** a trvá zpravidla několik desítek minut. Představuje **nebezpečnou situaci** zejména pro nižší zdroje, neboť vysoké komíny (nad sto metrů stavební výšky) ve většině případů emitují exhalace nad horní hranici noční přízemní inverze. **V uzavřených údolích**, kde noční inverze mohou dosáhnout větší vertikální mohutnosti, se na zadýmování mohou podílet i vyšší zdroje.

148

Stabilitní podmínky a kouřové vlečky - zadržování (odrážení, trapping)

- **zadržování (odrážení, trapping)** je vzhledově podobný zadýmování, liší se však hlavně způsobem vzniku a dobou trvání. Podobně jako u předchozího typu se kouřová vlečka šíří **mezi zemským povrchem a "víkem" stabilní vrstvy**, která leží nad ní a zabraňuje jejímu pronikání do vyšších hladin



149

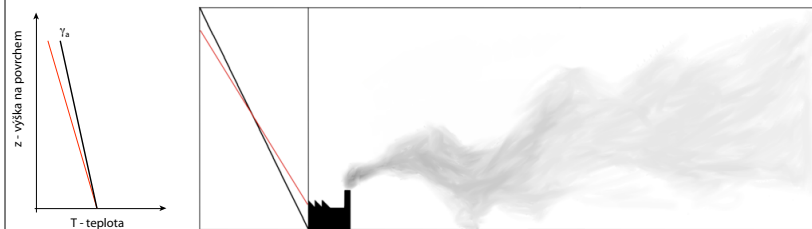
Stabilitní podmínky a kouřové vlečky - zadržování (odrážení, trapping)

- **zadržování (odrážení, trapping)** je vzhledově podobný zadýmování, liší se však hlavně způsobem vzniku a dobou trvání. Podobně jako u předchozího typu se kouřová vlečka šíří **mezi zemským povrchem a "víkem" stabilní vrstvy**, která leží nad ní a zabraňuje jejímu pronikání do vyšších hladin
- zádržná vrstva se může nalézat dosti vysoko nad zdrojem a je tvořena teplotní inverzí **subsidenčního nebo advekčního původu**. Zvrstvení pod zádržnou vrstvou je na rozdíl od zadýmování stabilnější. Vlečky se **mnohonásobně odrážejí od zemského povrchu** a od spodní hranice zádržné vrstvy
- situace tohoto typu **může trvat i několik dní**, zejména v zimním období, a představuje **velmi nepříznivé rozptýlové podmínky pro všechny zdroje**, protože i ty nejvyšší mohou být uzavřeny pod zádržnou vrstvou. V průmyslových a městských aglomeracích s velkou koncentrací zdrojů v těchto případech vznikají nebezpečné smogové situace

150

Stabilitní podmínky a kouřové vlečky - přemetání (looping)

- **přemetání (looping)** kouřových vleček lze pozorovat zejména **při slabším větru za labilního zvrstvení** (typické za slunných horkých dnů, kdy se vzduch v blízkosti zemského povrchu silně prohřívá). Kouřová vlečka je strhávána vertikálními pohyby vzduchu a má hadovitý charakter. Pokud se části vlečky dostanou až k zemskému povrchu, je možno v místě kontaktu pozorovat po dobu několika sekund velmi vysoké koncentrace, odpovídající koncentracím v ose vlečky. U vysokých zdrojů horkých exhalací, které jsou emitovány do velkých výšek nad zemským povrchem, dochází ke kontaktu vlečky se zemským povrchem jen výjimečně. K přemetání tudíž dochází **hlavně u nižších zdrojů** s chladnějšími emisemi.



151

Stabilitní podmínky a kouřové vlečky



152

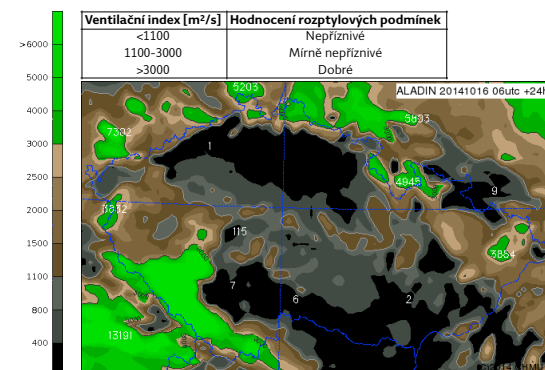
Stabilitní podmínky a kouřové vlečky



153

Ventilační index

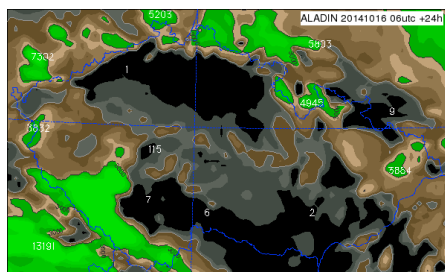
- parametr indikující rozptylové podmínky, součin výšky mezí vrstvy a průměrné rychlosti větru
- <http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ov/aladin/results/ala.html>



154

Ventilační index a rozptylové podmínky

- rozptylové podmínky nelze zaměňovat se samotnou kvalitou ovzduší a jeho znečištěním
- špatné rozptylové podmínky neznamenají nutně vysoké koncentrace škodlivin (např. jsou-li v letním období nízké emise znečišťujících látek)
- vysoké koncentrace nastávají zpravidla za nepříznivých rozptylových podmínek a při spolupůsobení dalších faktorů, jako je například nízká teplota vzduchu

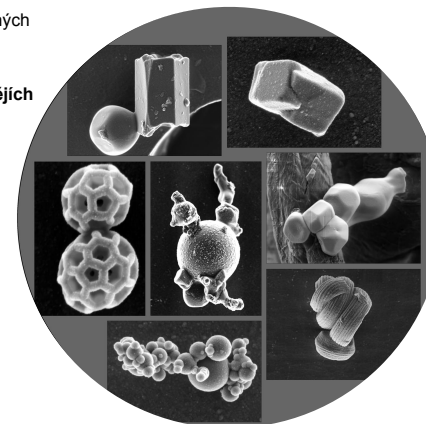


Zdroj: <http://chmi.cz>

155

Atmosférický aerosol

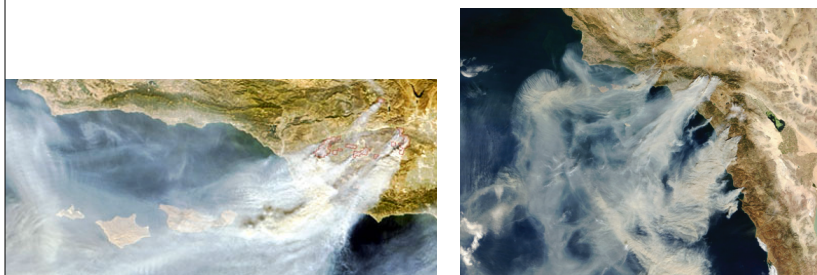
- soubor tuhých, kapalných nebo směsných částic o průměru 1 nm-100 μm
- **všude přítomná složka atmosféry**
- významný **podíl na atmosférických dějích** srážky, radiační a teplotní bilance



156

Atmosférický aerosol

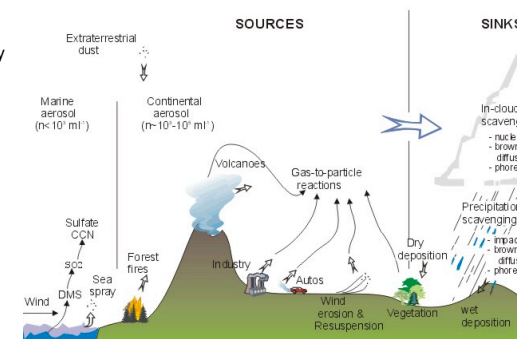
- nejčastěji částice o průměru $0.3\ \mu\text{m}$ - neviditelné
- aerosol **primární a sekundární**, bioaerosol
- nejdůležitější parametry - **velikost, tvar a hustota částic aerosolu**
- podíl na změnách klimatu



157

Atmosférický aerosol

- soubor tuhých, kapalných anebo směsných částic o průměru $1\ \text{nm}-100\ \mu\text{m}$
- **všudy přítomná složka atmosféry**
- významný **podíl na atmosférických dějích**
- vznik srážek
- energetické/radiační procesy



158

Atmosférický aerosol

- částice o průměru $0.3\ \mu\text{m}$ jsou již **jednotlivě neviditelné**, při **větší koncentraci viditelné**
 - vodní kapénky v atmosféře:
 - při koncentraci větší než 1% hustoty okolního vzduchu ($1.205\ \text{kg/m}^3$) - **mrak/obлак**
 - **mlha** - vzniká kondenzací přesycených par, kulové částice od 0.1 do $100\ \mu\text{m}$
 - **opar** - atmosférický aerosol ovlivňující zejména viditelnost



159

Atmosférický aerosol

- částice o průměru $0.3\ \mu\text{m}$ jsou již jednotlivě neviditelné, při **větší koncentraci viditelné**
- **dým** - z pevných částic obvykle menších než $0.05\ \mu\text{m}$ vznikajících kondenzací par při vysoko teplotních procesech
- **kouř** - podobně jako dým, ale i kapalně částice, při nedokonalém spalování
- **prach** - částice o průměru větší než $0.6\ \mu\text{m}$ díky působení mechanických sil na pevnou hmotu



160

Atmosférický aerosol

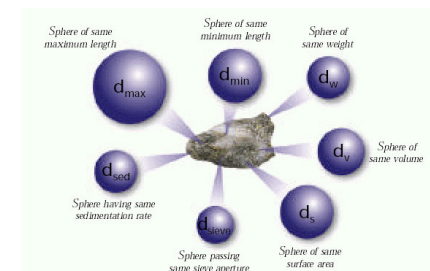
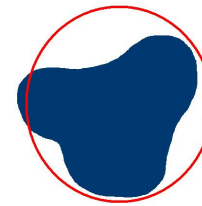
- nejdůležitější parametry - **velikost, tvar a hustota částic aerosolu**, ze základních parametrů lze pak odvodit další chování/vlastnosti
- např. částice o velikosti podobné velikosti molekul vzduchu se bude pohybovat zejména Brownovým pohybem (tj. pohyb určený difúzí), pohyb viditelné částice je určen zejména setrvačností a třením
- potřeba objektivního měřítka - **ekvivalentní průměr** - průměr kulové částice o standardní hustotě 1000 kg/m^3 , u které lze naměřit stejnou hodnotu sledované fyzikální veličiny (rychlost difúze, rozptyl světla apod.)
- the equivalent diameter of a non-spherical particle is equal to a diameter of a spherical particle that exhibits identical property (e.g., aerodynamic, hydrodynamic, optical, electrical) to that of the investigated non-spherical particle* - <http://en.wikipedia.org...>



161

Atmosférický aerosol

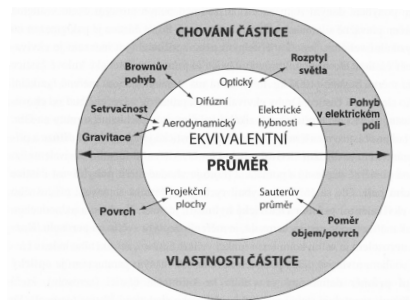
- potřeba objektivního měřítka - **ekvivalentní průměr** - průměr kulové částice o standardní hustotě 1000 kg/m^3 , u které lze naměřit stejnou hodnotu sledované fyzikální veličiny (rychlost difúze, rozptyl světla apod.)
- the equivalent diameter of a non-spherical particle is equal to a diameter of a spherical particle that exhibits identical property (e.g., aerodynamic, hydrodynamic, optical, electrical) to that of the investigated non-spherical particle* - <http://en.wikipedia.org...>



162

Atmosférický aerosol

- ekvivalentní průměr** - je průměr hypotetické kulové částice o standardní hustotě 1000 kg/m^3 , která má stejnou hodnotu fyzikální veličiny jako sledovaná částice
- charakteristika částic aerosolu pro různé fyzikální charakteristiky
- ekvivalentní průměr:
 - difúzní
 - elektrické hybnosti
 - optický
 - Sauterův (poměr mezi povrchem a objemem sledovaných částic)
 - aerodynamický (pádová rychlost, působení gravitace a tření)



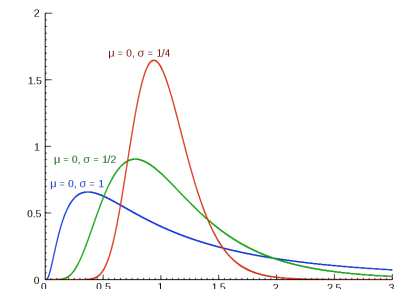
Zdroj: Atmosféra a klima : Aktuální otázky znečištění ovzduší

Obr. 5.2 Definice ekvivalentního průměru částice závislá na měření jejího chování nebo vlastnosti.

163

Atmosférický aerosol

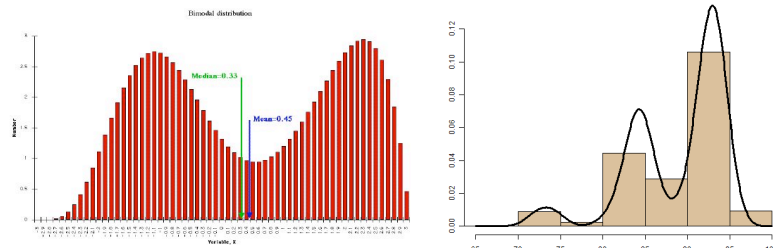
- většinou je aerosol tvořen velkým počtem částic (až 10^8 na cm^3)
- nelze charakterizovat jednotlivé částice**, ale je nutné vydělit skupiny podobných velikostí
- tzn. určit **velikostní distribuci částic** studovaného aerosolu
- ze **statistického rozdělení** lze pak vyvodit vlastnosti souboru aerosolových částic
- vhodné zejména **lognormální rozdělení** (pouze kladné hodnoty, dostatečný poměr max/min)



164

Atmosférický aerosol

- velikostní distribuce atmosférického aerosolu je trimodální



165

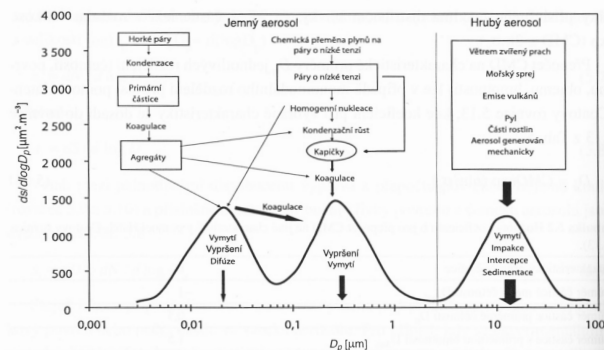
Atmosférický aerosol

- základní rozdělení na **hrubé částice** ($D_p > 2.5 \mu\text{m}$) a **jemné částice** ($D_p < 2.5 \mu\text{m}$)
- **trimodální rozdělení** distribuce aerosolu - nukleární, akumulační mód a hrubé částice
- **nukleární mód** - Aitken částice - (20 nm , $0.001 - 0.1 \mu\text{m}$) - **vznik** v důsledku vysokoteplotních procesů a fotochemických reakcí, převážně kulové částice, **odstraňovány** koagací s č. akumulačního módu, **doba setrvání** od vteřin po desítky minut
- **akumulační mód** (300 nm , $0.1 - 2.5 \mu\text{m}$) - podstatná část atmosférického aerosolu, **vznik** kondenzací plynů, chemickou reakcí, koagací menších částic, **doba setrvání** dny až týdny, **odstraňovány** především mokrou depozicí
- **mód hrubých částic** ($10 \mu\text{m}$, $D_p > 2.5 \mu\text{m}$) - částice primárně **vzniklé** působením mechanické síly na hmotu, prach vytvářený větrem, dopravou, průmyslem, ovlivnění rozptýlu světla, **doba setrvání** je dána poměrem mezi turbulentními a gravitačními silami, ve vrstvě do 1 km 1-2 dny

166

Atmosférický aerosol

Zdroj: Atmosféra a klima : Aktuální otázky znečištění ovzduší

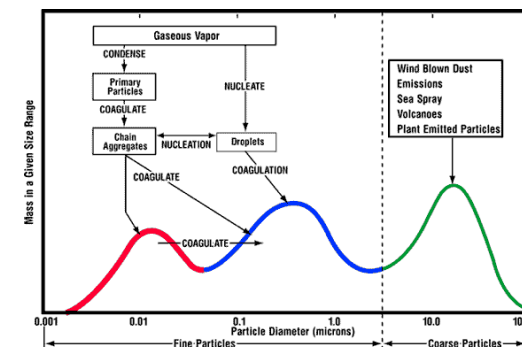


Obr. 5.9 Idealizované schéma distribuce povrchu částic atmosférického aerosolu. Zjednodušené reakční schéma a zdroje jednotlivých velikostních skupin aerosolu, jejich formy a hlavní procesy vedoucí k odstraňování aerosolu z atmosféry.

167

Atmosférický aerosol

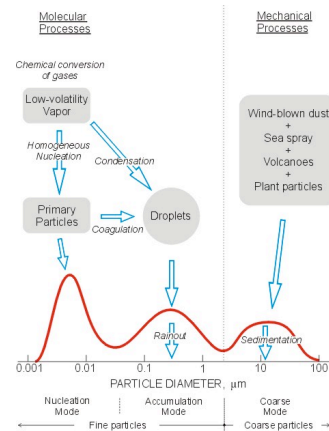
- **nukleární mód** - (20 nm , $D_p < 0.1 \mu\text{m}$)
- **vznik** v důsledku vysokoteplotních procesů a fotochemických reakcí, převážně kulové částice
- **odstraňovány** koagací s č. akumulačního módu
- **doba setrvání** od vteřin po desítky minut



168

Atmosférický aerosol

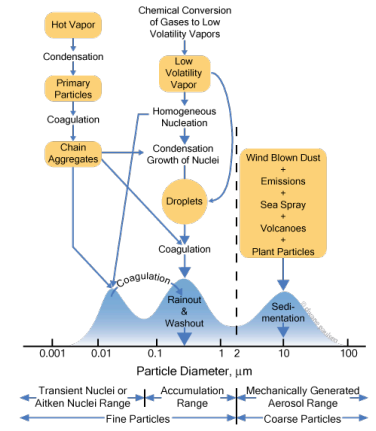
- **akumulační mód** (300 nm, 0.1 - 2.5 μm) - podstatná část atmosférického aerosolu
- **vznik** kondenzací plynů, chemickou reakcí, koagací menších částic
- doba **setrvání** dny až týdny
- **odstraňovány** především mokrou depozicí



169

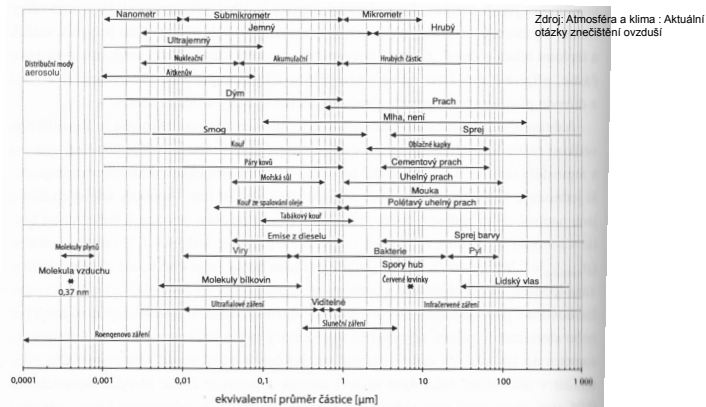
Atmosférický aerosol

- **mód hrubých částic** (10 μm , $D_p > 2.5 \mu\text{m}$)
- částice primárně **vzniklé** působením mechanické síly na hmotu, prach vytvářený větrem, dopravou, průmyslem, ovlivnění rozptýlu světla
- doba **setrvání** je dána poměrem mezi turbulentními a gravitačními silami, ve vrstvě do 1 km 1-2 dny
- odstraňovány díky gravitaci (sedimentaci)



170

Atmosférický aerosol

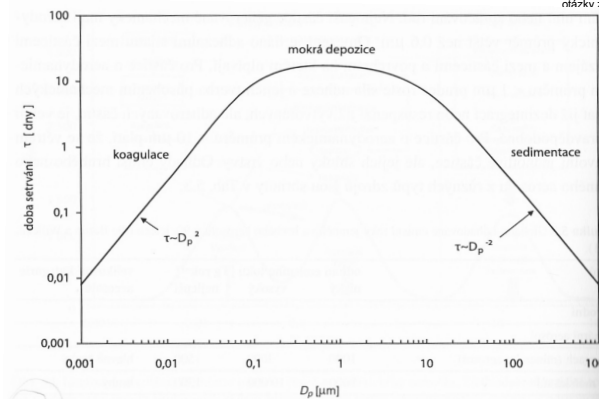


Obr. 5.1 Velikostní rozsahy, skupiny a definice atmosférického aerosolu vzhledem k velikosti částice (zpracováno dle různých zdrojů, zejména Hinds, 1999).

171

Atmosférický aerosol

Zdroj: Atmosféra a klima : Aktuální otázky znečištění ovzduší

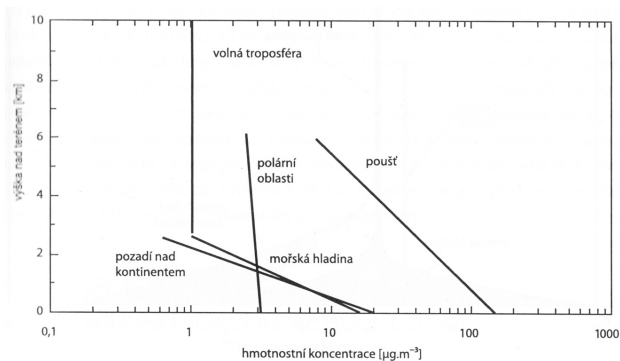


Obr. 5.10 Velikostní distribuce doby setrvání a hlavní procesy ovlivňující dobu setrvání atmosférického aerosolu v hraniční vrstvě atmosféry.

172

Atmosférický aerosol

- vertikální distribuce hmotnostní koncentrace
- **hmotnostní koncentrace** v troposféře s výškou klesá (sedimentace hrubé frakce)

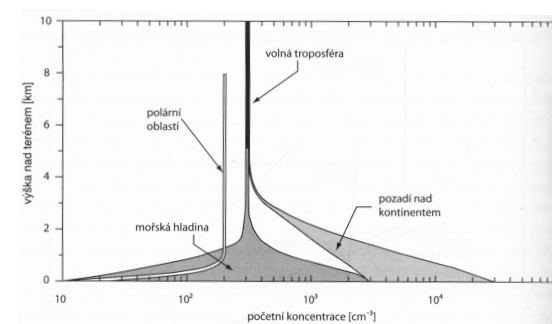


Zdroj: Atmosféra a klima : Aktuální otázky znečištění ovzduší

173

Atmosférický aerosol

- vertikální distribuce početní koncentrace
- **početní koncentrace** je v troposféře s výškou proměnlivá



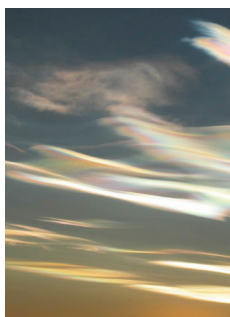
Zdroj: Atmosféra a klima : Aktuální otázky znečištění ovzduší

Obr. 5.12 Vertikální distribuce četnosti atmosférického aerosolu v troposféře.

174

Atmosférický aerosol

- **Jungeho vrstva** je oblast v atmosféře, konkrétně ve stratosféře, kde se nachází zvýšená koncentrace aerosolových částic. Obvykle se vyskytuje ve výškách mezi 15 a 25 km nad zemským povrchem. Tyto aerosoly hrají klíčovou roli v chemických a radiačních procesech v atmosféře, včetně ovlivňování tvorby polární stratosférické oblačnosti (perleťových oblak) a rozptylu slunečního záření
- Hlavní složkou těchto aerosolů jsou sulfátové částice, které vznikají oxidací plynů obsahujících síru. Ve stratosféře dochází k jejich oxidaci a následné tvorbě kyseliny sírové (H_2SO_4), která kondenzuje a vytváří jemné kapičky tvořící aerosoly



175