

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

ROZPTYL EMISÍ V OVZDUŠÍ
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ABSTRAKT

Tato práce má dvě části, teoretickou a výpočtovou. Teoretická část se zabývá informacemi o složení a členění atmosféry, základních znečišťujících látkách a jejich vlivu na životní prostředí a zdraví člověka, legislativě v oblasti ochrany ovzduší. Součástí je také zhodnocení znečištění na území České republiky z hlediska základních znečišťujících látek. Dále se zabývá šířením a rozptylem znečišťujících látek.

Výpočtová část řeší znečištění, které způsobuje bodový zdroj Výtopna Písek Samoty. Pro výpočet maximálních koncentrací znečišťujících látek ve čtyřech referenčních bodech byla použita metodika SYMOS'97. Hodnoty vypočítaných koncentrací ve zvolených bodech sice nepřekračují povolené imisní limity, ale situace není ideální.

ABSTRACT

This thesis has two parts, theoretical and computational. Theoretical part follows up informations about composition and division of atmosphere, its basic pollutants and their influence on environment and human health, legislation on air protection. It also includes the assessment of pollution in the Czech Republic in terms of basic pollutants. Thesis also deals with spreading and dispersion of pollutants.

The computational part solves the pollution caused by point source „Výtopna Písek Samoty.“ There was used SYMOS'97 methodology to get the best results with highest concentration of pollutants in four reference points. Although the calculated concentrations at the selected points do not exceed the permitted limit values, the situation is not ideal.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Rozptyl emisí v ovzduší“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Pavla Vybírala, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

Poděkování

Ráda bych poděkovala Ing. Pavlu Vybíralovi, Ph.D. za vstřícnost, cenné rady, gramatickou kontrolu, trpělivost a zodpovědné vedení při vypracovávání bakalářské práce.

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. ATMOSFÉRA	2
2.1. Složení atmosféry	2
2.2. Členění atmosféry	3
2.2.1. Vertikální členění atmosféry podle průběhu teploty s výškou	3
2.2.2. Členění podle koncentrace iontů a volných elektronů	5
2.2.3. Členění podle složení	5
3. ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY	6
3.1. Dělení znečišťujících látek	6
3.2. Charakteristika základních znečišťujících látek a dopad na zdraví člověka	7
3.2.1. Oxid uhelnatý (CO)	7
3.2.2. Oxid siřičitý (SO ₂)	7
3.2.3. Oxidy dusíku	8
3.2.4. Přízemní (troposférický) ozon	9
3.2.5. Benzen	9
3.2.6. Olovo	9
3.2.7. Tuhé znečišťující látky	10
4. LEGISLATIVA	11
5. ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ V ČESKÉ REPUBLICĚ	14
5.1. PM ₁₀	15
5.2. Oxidy dusíku (NO _x)	17
5.3. Oxid siřičitý (SO ₂)	19
6. ŠÍŘENÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK V OVZDUŠÍ	21
6.1. Přenos a rozptyl znečišťujících látek	21

6.2.	Vertikální zvrstvení atmosféry	22
6.3.	Rychlost větru	25
6.4.	Kouřová vlečka.....	26
7.	SYMOS'97.....	29
7.1.	Vstupní údaje o zdroji, referenční body	29
7.2.	Definice jednotlivých proměnných a parametrů	31
7.2.1.	Určení horizontálních a vertikálních souřadnic.....	31
7.2.2.	Koeficient vlivu terénu	36
7.2.3.	Rychlost větru ve výšce koruny komína	36
7.2.4.	Efektivní výška zdroje.....	37
7.2.5.	Rychlost větru v efektivní výšce zdroje	41
7.2.6.	Rozptylové parametry pro bodové zdroje	42
7.2.7.	Zahrnutí depozice a transformace znečišťujících látek	43
8.	VÝPOČET MAXIMÁLNÍCH KRÁTKODOBÝCH KONCENTRACÍ.....	44
8.1.	Maximální krátkodobá koncentrace CO	44
8.2.	Maximální krátkodobá koncentrace NO ₂	45
8.3.	Maximální krátkodobá koncentrace SO ₂	46
8.4.	Maximální krátkodobá koncentrace TZL	48
8.5.	Maximální koncentrace látek v referenčních bodech	50
9.	ZÁVĚR.....	52
10.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	53

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

A	[-]	Konstanta pro výpočet převýšení kouřové vlečky
B	[-]	Konstanta pro výpočet převýšení kouřové vlečky
C ₂	[-]	Konstanta určující poměr mezi objemem částice a jejím char. rozměrem
C ₃	[-]	Součinitel odporu tření
H	[m]	Stavební výška komína
K _m	[-]	Korekční koeficient na postupný vznos vlečky v blízkosti zdroje
K _s	[-]	Korekční koeficient převýšení vlečky na teplotní stabilitu ovzduší
M	[g·s ⁻¹]	Hmotnostní tok znečišťující látky
P,p	[-]	Exponent ve výpočtu rychlosti větru v koruně komína
Q	[MW]	Tepelná vydatnost zdroje
R	[-]	Označení referenčního bodu
T ₀	[°C]	Teplota ve výchozí hladině
T(z)	[°C]	Teplota v hladině
V _s	[m ³ ·s ⁻¹]	Objemový průtok spalin za normálních podmínek
Z	[-]	Označení zdroje
a _y	[-]	Konstanta pro výpočet rozptylových parametrů
a _z	[-]	Konstanta pro výpočet rozptylových parametrů
b _y	[-]	Konstanta pro výpočet rozptylových parametrů
b _z	[-]	Konstanta pro výpočet rozptylových parametrů
c	[μg·m ³]	Koncentrace znečišťující látky
c _{max}	[μg·m ³]	Maximální koncentrace znečišťující látky
c _s	[kJ·m ⁻³ ·K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita vztažená na 1 m ³ spalin za normálních podmínek
Δh	[m]	Převýšení kouřové vlečky
d _i	[m]	Aerodynamický průměr prašné částice
dt	[°C]	Změna teploty
dz	[m]	Změna výšky
g	[m·s ⁻²]	Gravitační zrychlení
h	[m]	Efektivní výška zdroje
h ₁	[m]	Efektivní výška zdroje s korelací
h _{gi}	[m]	Pokles osy prašné vlečky v důsledku pádové rychlosti prašných částic
k _u	[s ⁻¹]	Koeficient odstraňování
l	[m]	Výška měření nad terénem
t	[°C]	Teplota
t ₀	[°C]	Teplota okolí
t _s	[°C]	Teplota spalin
u ₁₀	[m·s ⁻¹]	Rychlost větru ve výšce 10 m
u _h	[m·s ⁻¹]	Rychlost větru ve výšce h
u _H	[m·s ⁻¹]	Rychlost větru v koruně komína

u_{h1}	$[m \cdot s^{-1}]$	Rychlost větru v ose kouřové vlečky
w_o	$[m \cdot s^{-1}]$	Výstupní rychlost exhalací
x	$[m]$	Vzdálenost zdroje od referenčního bodu
x_L	$[m]$	Vzdálenost referenčního bodu od zdroje ve směru větru
x_r	$[m]$	X souřadnice referenčního bodu
x_z	$[m]$	X souřadnice zdroje
y_L	$[m]$	Vzdálenost referenčního bodu od zdroje ve směru kolmém na směr větru
y_r	$[m]$	Y souřadnice referenčního bodu
y_z	$[m]$	Y souřadnice zdroje
z	$[m]$	Vzdálenost od země
z_0	$[m]$	Výška výchozí hladiny
$z(x')$	$[m]$	Funkce převýšení terénu
$z_1(x')$	$[m]$	Funkce převýšení terénu
$z_2(x')$	$[m]$	Funkce převýšení terénu
z'	$[-]$	Korigovaná souřadnice pro výpočet přímého rozptylu
z''	$[-]$	Korigovaná souřadnice pro výpočet odrazu v dolním odhadu
z'''	$[-]$	Korigovaná souřadnice pro výpočet odrazu v horním odhadu
z_m	$[m]$	Maximální výška terénu mezi zdrojem a referenčním bodem
z_m^{Rx}	$[m]$	Maximální výška terénu mezi zdrojem a referenčním bodem Rx
z_r	$[m]$	Nadmořská výška terénu u referenčního bodu
z_z	$[m]$	Nadmořská výška terénu u zdroje
α_{pi}	$[\%]$	Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí TZL
β	$[-]$	Korekční koeficient převýšení vlečky
γ	$[^{\circ}C \cdot m^{-1}]$	Vertikální gradient teploty
γ_{ad}	$[^{\circ}C \cdot m^{-1}]$	Adiabatický teplotní gradient
γ_s	$[^{\circ}C \cdot m^{-1}]$	Suchoadiabatický teplotní gradient
γ_v	$[^{\circ}C \cdot m^{-1}]$	Vlhkoadiabatický teplotní gradient
ε	$[-]$	Korekční součinitel na převýšení vlečky na vliv terénu
ϑ	$[-]$	Koeficient vlivu terénu
λ	$[^{\circ}]$	Úhel mezi směrem větru a vzdáleností x
ν	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	Kinematická viskozita vzduchu
ν_{gi}	$[m \cdot s^{-1}]$	Pádová rychlost prašných částic
ρ	$[kg \cdot m^{-3}]$	Hustota vzduchu
ρ_c	$[kg \cdot m^{-3}]$	Hustota prašných částic
σ_y	$[m]$	Příčný horizontální rozptylový parametr
σ_z	$[m]$	Příčný vertikální rozptylový parametr

1. ÚVOD

Po celém světě výrazně roste počet zdrojů škodlivin. Aby nedošlo k nežádoucím účinkům, které mohou některé znečišťující látky způsobovat, musí se koncentrace těchto látek přísně kontrolovat. Pokud by tomu tak nebylo, mělo by to tragický dopad nejen na životní prostředí a soukromý majetek, ale i na lidské zdraví. Existuje mnoho možností, jak dosáhnout čistějšího prostředí. Je zde například možnost používat kvalitní paliva, která svými spalinami tolik nezatěžují prostředí, nebo lze použít novější technologie. Obě tyto možnosti jsou však velmi nákladné. Legislativa České republiky se snaží situaci s kvalitou ovzduší zlepšit zejména postupným zpřísnováním emisních limitů, za jejich překročení jsou účtovány poplatky. Přípustná úroveň znečištění je stanovena pomocí imisních limitů, které jsou stanoveny pro ochranu zdraví lidí a pro ochranu ekosystémů a vegetace.

Cílem této práce je popsat a vysvětlit základní problematiku týkající se složení a členění atmosféry, základních znečišťujících látek a legislativy ovzduší. Dále zhodnotit stav znečištění v České republice za posledních několik let, včetně podrobnějších informací o některých problematických znečišťujících látkách. Součástí práce je také popis šíření znečišťujících látek v atmosféře na krátké vzdálenosti, kdy ve výpočtové části bylo cílem zhodnotit vliv bodového zdroje na imisní situaci v blízkém okolí z hlediska maximálních koncentrací znečišťujících látek využitím metodiky SYMOS'97.

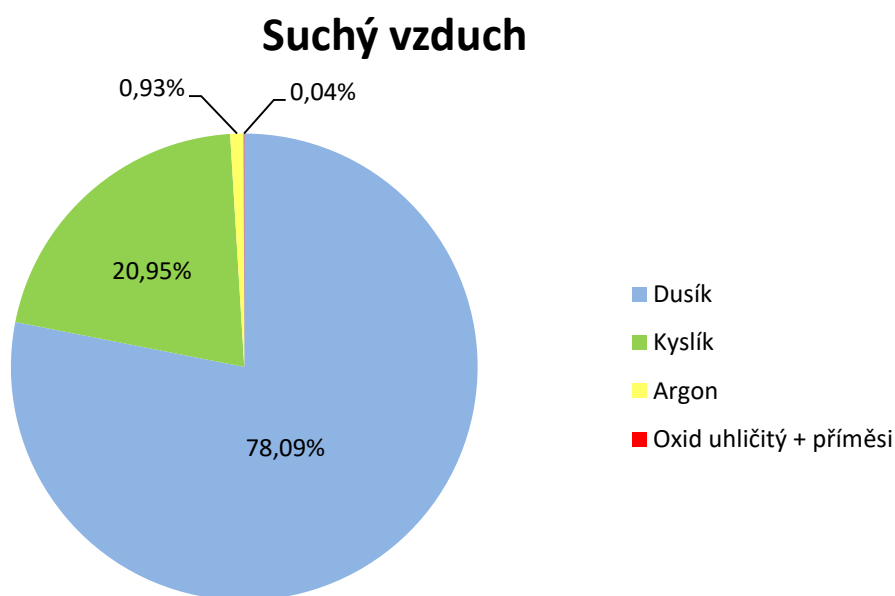
2. ATMOSFÉRA

Atmosféra je plynný obal tělesa ve vesmíru. Tento objekt musí mít dostatečnou hmotnost a také gravitační síly, které plyny udrží v jeho blízkosti. Takovým tělesem je i naše planeta - Země.

Zemská atmosféra má celkovou hmotnost okolo $5,3 \cdot 10^{18}$ kilogramů, přičemž hmotnost, tlak i teplota s rostoucí výškou od hladiny moře klesá. 50 % celkové hmotnosti je dosaženo již ve výšce 5,5 kilometrů, 75 % v 10 kilometrech a ve 48 kilometrech nad mořem je dosaženo 99,9 % celkové hmotnosti atmosféry. Konečná výška není pevně stanovená, neboť atmosféra plynule přechází do kosmického prostoru. Horní hranice je udávána od 100 km (Karmanova hranice) do 10 000 km nad mořem. [3], [7]

2.1. Složení atmosféry

Atmosféra se skládá ze tří základních složek – suchého vzduchu, vody a znečišťujících příměsí. Suchý vzduch obsahuje dusík, kyslík, argon, oxid uhličitý a stopové množství dalších látek. Procentuální zastoupení složek suchého vzduchu je na obrázku 1. Pokud se v ovzduší vyskytuje i voda, například v podobě páry, drobných kapiček nebo krystalků, lze nazvat takový vzduch vlhkým. Obsah vody v ovzduší je do 4 %. Příměsi obsažené v atmosféře jsou uvedené v tabulce 1. [3], [7]



Obr. 1: Objemová koncentrace složek suchého vzduchu v procentech

Tab. 1: Vedlejší plynné složky obsažené v suchém vzduchu [3]

Vedlejší plynná složka	ppm obj.	Vedlejší plynná složka	ppm obj.
Oxid uhličitý	370	Oxid uhelnatý	0,1
Neon	18,2	Xenon	0,09
Helium	5,2	Ozón	0,05
Metan	2,0	Oxid siřičitý	0,03
Krypton	1,1	Oxid dusičitý	0,01
Vodík	0,5	Amoniak	0,001
Oxid dusný	0,5		

2.2. Členění atmosféry

Atmosféru lze rozčlenit mnoha způsoby. Kritérii pro rozdělení jsou například tlak, teplota, hustota nebo složení. Nejpoužívanější metodou je vertikální členění. Dále lze atmosféru dělit podle koncentrace iontů a volných elektronů či podle složení.

2.2.1. Vertikální členění atmosféry podle průběhu teploty s výškou

Podle průběhu teploty a nadmořské výšky se atmosféra rozděluje na pět vrstev. Jsou to troposféra, stratosféra, mezosféra, termosféra a exosféra. Mezi jednotlivými vrstvami se nacházejí pauzy – tropopauza, stratopauza, mezopauza, termopauza. Graf se znázorněnými sférami v závislosti na výšce je na obrázku 2. [3], [7]

Troposféra

Troposféra je nejspodnější vrstva atmosféry. Začíná v nulové výšce, horní hranice závisí na rotaci Země. Na rovníku končí tato sféra ve výšce 18 km a dále se s přibývajícím vzdáleností od rovníku její výška snižuje. V mírných pásmech dosahuje 11 km a u pólů má nejnižší hranici - v 8 kilometrech. Teplota s rostoucí výškou klesá (jak lze vidět na obrázku číslo 2), a to v průměru o 0,65 °C na 100 metrů výšky. V troposféře se odehrává nejvíce povětrnostních jevů a obsahuje většinu vlhkosti atmosféry.

Stratosféra

Stratosféra se nachází v rozmezí zhruba 10 až 50 kilometrů nad mořem. Vznikají zde vzdušné proudy o velmi vysoké rychlosti a nenachází se tu téměř žádná vlhkost. Teplota u dolní hranice dosahuje -55°C , s rostoucí výškou stoupá až k 0°C . Část stratosféry ve výšce 22-25 kilometrů se nazývá ozonová vrstva. Ozon zachycuje ultrafialové záření produkované Sluncem, které je nebezpečné pro živé organismy na Zemi. K povrchu planety se dostane jen něco okolo 1 % těchto paprsků.

Mezoféra

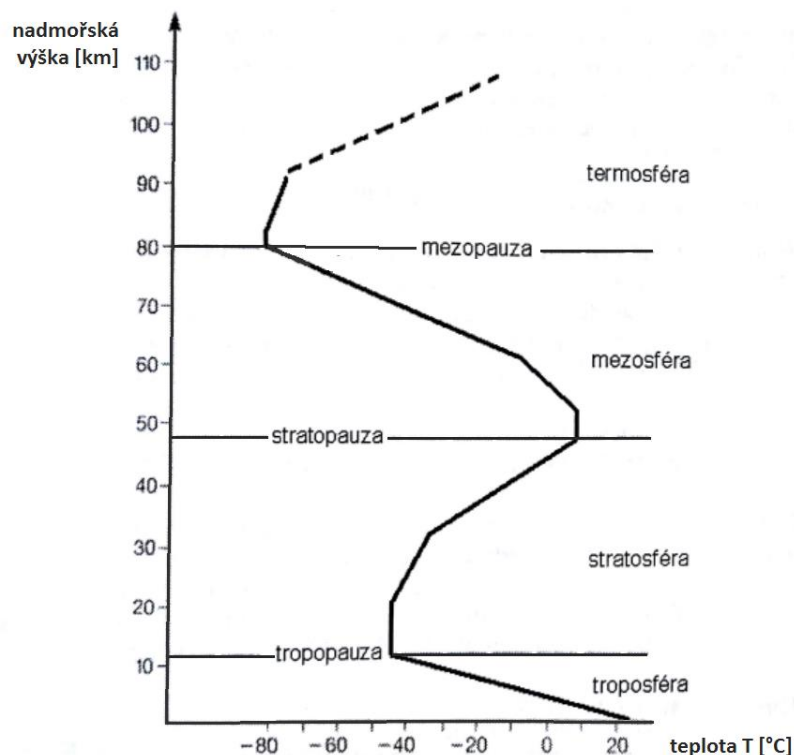
Mezoféra je vrstva mezi stratosférou a termosférou. Nachází se ve výšce 50-80 km nad mořem. Teplota zde klesá asi o 3°C na 1 km. V oblasti horní hranice teplota dosahuje až -90°C . V mezoféře shoří většina meteoroidů, které vnikly do zemské atmosféry. Díky tomuto jevu můžeme sledovat z povrchu Země "padající hvězdy".

Termosféra

Termosféra se nachází nad mezoférou. Vyskytuje se ve výšce 80-450 kilometrů nad mořem. Teplota s přibývajícím vzdáleností od Země stoupá až do stovek $^{\circ}\text{C}$ a v 400-450 km nad mořem zůstává konstantní. Kvůli velmi nízké hustotě zde nelze měřit teplotu běžnými metodami. Určuje se pomocí kinetické energie jednotlivých molekul vzduchu. V termosféře může docházet k polární záři.

Exosféra

Exosféra je nejvzdálenější vrstvou atmosféry. Nachází se v rozmezí 500 (700) km až několika tisíců kilometrů nad mořem. Horní hranici nelze přesně určit, protože exosféra plynule navazuje na kosmický prostor. Kvůli nízké gravitaci zde unikají volné atomy vodíku a helia do meziplanetárního prostoru.



Obr. 2: Vertikální členění atmosféry podle průběhu teploty s výškou

2.2.2. Členění podle koncentrace iontů a volných elektronů

Zde se dělí atmosféra na dvě hlavní vrstvy - neutrosféru a ionosféru. Neutrosféra sahá od povrchu země do výšky zhruba 60 km. Obsahuje převážně neutrální částice a neumožňuje odraz rádiových vln na rozdíl od ionosféry, která odráží některé frekvence těchto vln. Ionosféra je vodivá, obsahuje elektricky nabitě částice – ionty. Tato vrstva se prostírá nad neutrosférou, tedy nad výškou 60 km. Horní hranice ionosféry není pevně stanovená. [7]

2.2.3. Členění podle složení

Toto dělení se zaměřuje na změnu složení ovzduší s přibývajícím výškou. Homosféra je vrstva atmosféry, sahající od povrchu země do 90 - 100 kilometrů, ve které se složení vzduchu výrazně nemění. Heterosféra se rozkládá ve výšce 90 – 500 (popř. 700) kilometrů nad mořem. Ubývá zde dusík a kyslík, koncentrace lehkých plynů (vodík, helium) roste. [7]

3. ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY

Znečišťující látkou lze označit jakoukoliv látku, která byla vnesena do ovzduší nebo vznikla sekundárně po chemické reakci s jinými látkami a má škodlivý vliv na životní prostředí, zdraví lidí a zvířat, na klimatický systém Země nebo hmotný majetek. [9]

3.1. Dělení znečišťujících látek

Znečišťující látky se dělí dle mnoha kritérií – podle chemického složení, skupenství, škodlivosti na zdraví a způsobu vnesení do atmosféry.

Dle zákona o ochraně ovzduší se znečišťující látky rozdělují na 9 souborů a dále na jednotlivé skupiny (viz kapitola č. 4).

Dělení podle chemického složení

Podle tohoto hlediska je možné znečišťující látky dělit na sloučeniny síry (oxid siřičitý, oxid sírový, sirovodík...), dusíku (oxid dusnatý, oxid dusičitý, oxid dusičný, amoniak...), uhlíku (oxid uhelnatý, oxid uhličitý, metan...), kyslíku (ozon), halogenové sloučeniny (fluor, brom, chlor, chlorovodík...) a ostatní znečišťující látky (včetně par kovů).

Dělení podle skupenství

Dle skupenství rozdělujeme znečišťující látky na tuhé, kapalné a plynné. V ovzduší se při běžných podmínkách objevují všechna tři skupenství.

Dělení podle škodlivosti na zdraví

Z hlediska škodlivosti na zdraví členíme látky na alergeny, karcinogenní, mutagenní a radioaktivní látky, těžké kovy... (celé rozdělení je uvedeno v kapitole č. 4). Informace o nepříznivých účincích jednotlivých základních znečišťujících látek jsou v podkapitole 3.2.

Ve vnitřním (pracovním) prostředí je dáno množství škodlivin podle přípustného expozičního limitu (PEL). Nejvyšší přípustná koncentrace (NPK-P) vyjadřuje, jakým koncentracím člověk nesmí být vystaven během celé pracovní doby (8 hod.). Imisní limity pro vnější prostředí stanovuje zákon o ochraně ovzduší.

Dělení podle způsobu vnesení do atmosféry

Znečišťující látky mohou vniknout do ovzduší dvěma způsoby – primárně a sekundárně. Primárním znečištěním rozumíme škodliviny vypouštěné do ovzduší přímo. Sekundární znečišťující látky vznikají až při chemické reakci s jinými látkami v ovzduší.

3.2. Charakteristika základních znečišťujících látek a dopad na zdraví člověka

3.2.1. Oxid uhelnatý (CO)

Oxid uhelnatý je prudce jedovatý, hořlavý a bezbarvý plyn bez zápachu, který vzniká při nedokonalém spalování materiálů s obsahem uhlíku - například spalováním paliva, v pecích, kotlích, ohřívacích vody, atd. Používá se v hutnictví při rafinaci kovového niklu a také při výrobě některých chemikálií. Malé množství tohoto plynu lze nalézt běžně ve městech.

V atmosféře reaguje s jinými látkami, díky tomu se rozkládá, ale také vzniká škodlivý přízemní ozon a roste koncentrace metanu. Konečným produktem těchto reakcí je oxid uhličitý.

Oxid uhelnatý se pomocí vdechování dostává do krevního oběhu, kde se váže na hemoglobin a tím zabraňuje vázání kyslíku. Důsledkem je nedostatečné okysličení orgánů a tkání. Při malé koncentraci může přivodit vážné zdravotní potíže osobám s kardiovaskulárními chorobami. Dlouhodobě zvýšená koncentrace CO ($> 100 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) může způsobit i zdravým lidem různé obtíže jako je snížená pracovní výkonnost a manuální zručnost. Při vysokých koncentracích je velmi nebezpečný. Způsobuje otravu, která se projevuje nejprve hnědočerveným zbarvením kůže, dále nastává kóma, křeče a smrt.

Množství oxidu uhelnatého v přirozeném a čistém ovzduší je zhruba $0,1 - 0,2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. [8]

3.2.2. Oxid siřičitý (SO₂)

Oxid siřičitý je bezbarvý, štiplavý a nehořlavý plyn. Největší množství této látky vzniká při spalování fosilních paliv obsahujících síru, z přírodních zdrojů, dále při úniku

z průmyslu (například při výrobě kyseliny sírové). Používá se na bělení nebo ochranu dřeva, v potravinářství jako konzervační prostředek.

V malém množství (kolem $0,1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) dráždí oči a horní cesty dýchací. Nejcitlivější jsou na tento plyn lidé, kteří trpí astmatem. Při zvýšené koncentraci ($0,25 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) dochází u citlivých dětí a dospělých k respiračnímu onemocnění, které postihuje horní cesty dýchací, průdušky, plíce a plicní cévy. Hlavním rysem této nemoci je omezený průtok vzduchu v průduškách. Dlouhodobé vystavení zvýšené koncentraci oxidu siřičitého ($0,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ nebo více) může vést k zvýšené úmrtnosti starších nemocných lidí. U velmi vysokých koncentrací může dojít k poškození očí, dýchacích orgánů a tvorbě tekutiny v plicích.

Oxid siřičitý má neblahý dopad i na životní prostředí. Společně s oxidy dusíku způsobují kyselé deště, které poškozují přírodu, stavby a památky. Způsobují uvolňování kovových iontů do půdy a může dokonce dojít k znehodnocení vody a úhynu ryb. [8]

3.2.3. Oxidy dusíku

Tato skupina zahrnuje velké množství různých oxidů dusíku. V ovzduší se vyskytuje nejčastěji oxid dusnatý (NO) - bezbarvý plyn, který je bez zápachu a oxid dusičitý (NO_2), který se projevuje štiplavým zápachem a červenohnědou barvou. Množství ostatních oxidů dusíku v ovzduší je velmi malé a tak nepředstavují přímé riziko pro zdraví člověka, mohou však způsobovat skleníkový efekt. Největším zdrojem těchto plynů je spalování paliv v motorových vozidlech a také spalování ve stacionárních zdrojích. Používají se při výrobě kyseliny dusičné, oxid dusičný také jako silné oxidační činidlo.

Člověku tyto oxidy škodí až při vysokých koncentracích, které se běžně ve vzduchu neobjevují. Dráždí dýchací cesty, váží se na krevní barvivo a tím brání přenosu kyslíku do tkání. V krajních případech mohou způsobit i smrt. Některé výzkumy dokonce odhalily, že tyto látky mají roli při vzniku nádorových onemocnění.

Dusík je v přiměřeném množství důležitý pro růst rostlin. Ve větší míře však rostliny poškozuje a způsobuje zhoršení odolnosti vůči mrazu a plísním. Spolu s oxidy síry způsobují kyselé deště, okyselují vodní toky. Oxidy dusíku přispívají k vzniku přízemního ozonu a také se některé z nich řadí mezi skleníkové plyny. [8]

3.2.4. Přízemní (troposférický) ozon

Přízemní ozon je škodlivý pro lidské zdraví, živočichy i rostliny, kterým brání ve fotosyntéze. Má velmi silné dráždivé účinky. Je označován za sekundární znečišťující látku, protože vzniká až během reakcí uhlovodíků, oxidů uhlíku a oxidů dusíku v ovzduší zejména při horkých bezvětrných dnech. Vytváří se důsledkem rostoucí automobilové dopravy a spalování fosilních paliv.

Při delším vdechování vysokých koncentrací způsobuje oslabení imunity, dýchací onemocnění, bolest hlavy, podráždění očí a nosu, pocit tlaku na hrudi. Zvýšenou citlivost na přízemní ozon mají staří lidé a děti. [2], [8]

3.2.5. Benzen

Benzen je při pokojové teplotě bezbarvá kapalina, která je hořlavá, těkavá a má svůj charakteristický zápach. Do ovzduší se dostává z výfukových plynů, chemického průmyslu, cigaretového kouře nebo v mnohem menším měřítku ze sopečných výbuchů a lesních požárů.

Benzen se dostává do těla převážně inhalačně nebo orálně, odtud se rozšíří do celého těla. Jeho největší koncentrace je pak v kostní dřeni, játrech, ledvinách a mozku. Je to silný karcinogen, může způsobovat především leukémii a rakovinu plic. Poškozuje centrální nervovou soustavu, imunitní systém a krvetvorbu. Typickými projevy otravy jsou bolení hlavy, euforie a zmatenost. Může dojít i k smrti kvůli selhání dýchání a srdeční arytmie.

Při reakcích plynného benzenu mohou vznikat organické peroxyradikály, které společně s oxidy dusíku zapříčiňují fotochemický smog. [8]

3.2.6. Olovo

Olovo se do lidského organismu může dostat třemi způsoby. Prvním je příjem prostřednictvím potravin, dále ze vzduchu - plicní inhalací a z pitné vody.

Olovo zůstává v krvi okolo 28-36 dní. Mnohem hůř se však vylučuje z kostí, může to trvat spoustu týdnů nebo měsíců. Olovo může poškodit mnoho důležitých orgánů (ledviny, játra), nervový systém, červené krvinky, cévy a svalstvo, také zvyšuje pravděpodobnost vzniku rakoviny plic a ledvin. Při velmi vysokých koncentracích může dojít k oslepnutí, poškození mozku, křečím a následné smrti. [8]

3.2.7. Tuhé znečišťující látky

Atmosférický aerosol je soubor tuhých, kapalných nebo směsných částic o velikosti 1 nm -100 μm . Vzniká při spalovacích procesech, tavení rud, svařování. Přirozeně vzniká v přírodě při sopečném výbuchu, požárech.

Velké částce na člověka nemají téměř žádný vliv, zachycují se na chloupkách v nose, proto nejsou rizikové. Nebezpečné jsou převážně menší částice o velikosti 10 μm a méně (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, $\text{PM}_{1,0}$). Při inhalaci se usazují v průduškách, ty nejmenší se dostávají až do plicních sklípků a mohou prostoupit až do krevního řečiště. Poškozují plicní a kardiovaskulární systém, při dlouhodobém vdechování mohou způsobovat chronické plicní choroby a chronickou bronchitidu. Sírany a amonné ionty obsažené v pevných částicích škodí zdraví člověka nejvíce, některé částice mohou mít dokonce karcinogenní účinky, které způsobují rakovinu plic.

Obecně platí, že čím má částice menší průměr, tím déle zůstává v ovzduší. Částice větší než 10 μm sedimentují na zemský povrch během několika hodin. Nejjemnější částice mohou v atmosféře zůstat po dobu několika týdnů, než se usadí. Tuhé částice ovlivňují energetickou bilanci Země a mají vliv i na regionální klima. [8]

4. LEGISLATIVA

Ochranou ovzduší se zabývá řada směrnic, nařízení a předpisů. Řada povinností v této oblasti má základ v předpisech Evropské unie. Rámcová směrnice 2008/50/ES je jednou z nejpodstatnějších předpisů a vypovídá o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu. Dále je důležitá směrnice 2010/75/EU, která se zabývá průmyslovými emisemi.

V České republice se zabývají ochranou ovzduší dva hlavní zákony. K oběma zákonům jsou předpokládány doplnění ve formě nařízení vlády či vyhlášek Ministerstva životního prostředí. [1], [9]

Prvním je zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. Ten byl novelizován zákonem č. 64/2014 Sb. (s účinností od 1. 5. 2014) a zákonem č. 87/2014 Sb. (s účinností od 1. 6. 2014). Stanovuje práva a povinnosti provozovatelů zdrojů znečišťování ovzduší, nástroje ke snižování množství znečišťujících látek, působnost správních orgánů a opatření k nápravě a sankce. Druhý důležitý zákon je zákon č. 73/2012 Sb., upravuje práva a povinnosti osob a působnost správních úřadů při ochraně ozonové vrstvy a klimatického systému Země před účinky regulovaných látek a fluorovaných skleníkových plynů. Doplnujícím předpisem k tomuto zákonu je vyhláška č. 257/2012 Sb., o předcházení emisním látek, které poškozují ozonovou vrstvu, a fluorovaných skleníkových plynů. [9]

Na zákon č. 201/2012 Sb. navazuje vyhláška č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. V této vyhlášce jsou uvedené i emisní limity, které se rozdělují dále na obecné a specifické. Obecné emisní limity jsou stanovené pro jednotlivé znečišťující látky a jejich skupiny. Specifické emisní limity jsou určené pro jednotlivé typy stacionárních zdrojů nebo je může stanovit krajský úřad pro jednotlivý stacionární zdroj. Krajský úřad nesmí určit stejný nebo vyšší emisní limit než je specifický limit pro daný zdroj. To znamená, že krajský úřad může limity pouze zpřísnit a musí své rozhodnutí řádně odůvodnit. Vyhláška č. 415/2012 Sb. byla novelizována vyhláškou č. 171/2016 Sb. [9]

Je známo mnoho znečišťujících látek, které podle legislativy dělíme na 9 souborů a dále na jednotlivé skupiny. [3], [9]

1. základní znečišťující látky – tuhé částice PM_{10} , $PM_{2,5}$, oxidy síry, oxidy dusíku, oxid uhelnatý, amoniak, amonné soli, metan, ...
2. azbest a těžké kovy (a jejich anorganické sloučeniny vyjádřené jako kov)
3. persistentní organické látky POP
4. organické sloučeniny klasifikované jako karcinogeny, mutageny
5. organické sloučeniny halogenové
6. těkavé organické látky
7. organické látky (neuvedené v předchozích bodech)
8. anorganické látky
9. pachové látky

Imisemi se zabývá vyhláška č. 330/2012 Sb., o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích. Úroveň znečištění je možné zhodnotit měřením, výpočtem pomocí modelu nebo lze zkombinovat tyto dva způsoby. Měření se provádí v místech, kde byla překročena horní mez koncentrace znečišťujících látek. Modelové situace se využívají v místech, kde nebylo dosaženo dolní meze. [9]

Dále tato vyhláška udává minimální počet měřicích stanic. Stanice jsou umístěné podle toho, jde-li o ochranu lidského zdraví nebo ekosystému. Při ochraně lidského zdraví se měřicí přístroje umísťují do míst s největší koncentrací znečišťující látky nebo do oblastí, kde se shromažďují lidé. K ochraně vegetace a ekosystémů je třeba dodržet vzdálenost měřicího přístroje od nejbližších měst a zastavěných ploch alespoň 20 km (od silnic 5 km).

V tabulce 2 je uveden přehled imisních limitů pro ochranu zdraví lidí a povolený počet překročení mezí. Přehled imisních limitů pro ochranu ekosystémů a vegetace je uveden v tabulce 3.

Tab. 2: Přehled imisních limitů pro ochranu zdraví lidí, maximální počet jejich překročení [1]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování		Imisní limit [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]
		dolní (LAT)	horní (UAT)	
SO ₂	1 hodina	-	-	350 (max 24x za rok)
	24 hodin	50 (max 3x za rok)	75 (max 3x za rok)	125 (max 3x za rok)
PM ₁₀	24 hodin	25 (max 35x za rok)	35 (max 35x za rok)	50 (max 35x za rok)
	1 rok	20	28	40
PM _{2,5}	1 rok	12	17	25
NO ₂	1 hodina	100 (max 18x za rok)	140 (max 18x za rok)	200 (max 18x za rok)
	1 rok	26	32	40
Pb	1 rok	0,25	0,35	0,5
CO	max. denní 8h klouzavý průměr	5 000	7 000	10 000
benzen	1 rok	2	3,5	5

Tab. 3: Přehled imisních limitů pro ochranu ekosystémů a vegetace a maximální počet jejich překročení

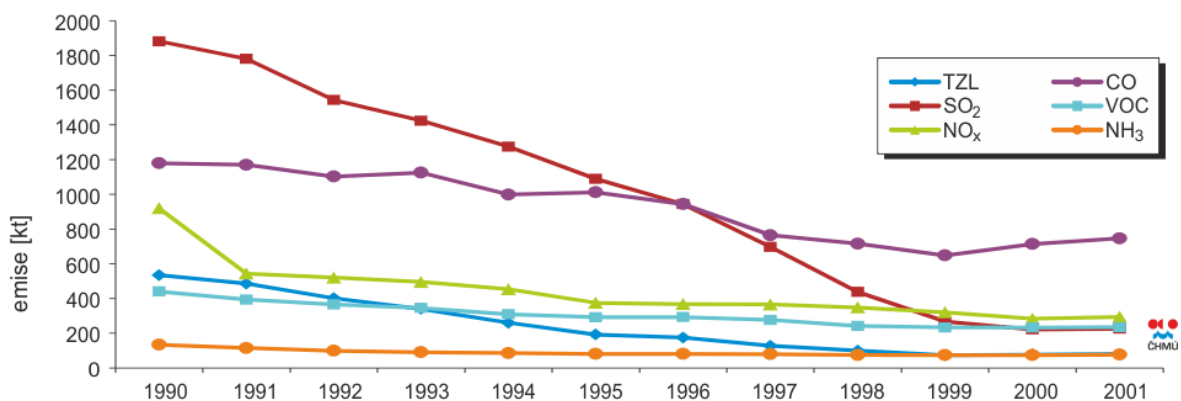
Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování		Imisní limit
		dolní (LAT)	horní (UAT)	
SO ₂	1 rok a zimní období (1.10. - 31.3.)	8	12	20
NO _x	1 rok	19,5	24	30

5. ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ V ČESKÉ REPUBLICE

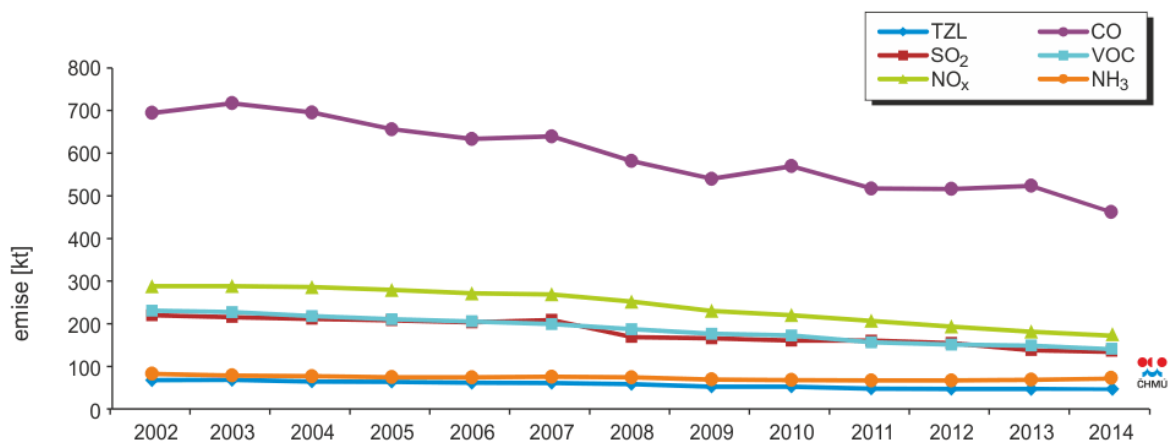
Česká republika je jednou ze zemí s nejméně znečištěným ovzduším i přes výrazné zlepšení této situace v minulých letech. Nejproblematictějšími znečišťujícími látkami v ČR jsou oxidy dusíku, tuhé znečišťující látky (PM₁₀, PM_{2,5}), oxid siřičitý, oxid uhelnatý a mnohé další látky. [1]

Na obrázcích číslo 3 a 4 je vývoj celkových emisí od roku 1990 až do 2014. Je zde vidět, že v 90. letech se množství znečišťujících látek výrazně snížilo. Byly použity nové technologie ke snížení emisí díky zákonu o ochraně ovzduší, také nastal útlum průmyslové výroby po sametové revoluci v roce 1989. Od roku 2000 koncentrace znečišťujících látek klesá jen mírně, v některých letech lze dokonce vidět drobné zvýšení koncentrací z důvodu měnících se meteorologických a rozptylových podmínek. Situace se během roku může zhoršit i kvůli neobvykle studené a dlouhé zimě. [1], [10]

V následujících podkapitolách 5.1. – 5.3. je zhodnocena situace pro základní znečišťující látky PM₁₀, NO_x a SO₂ podle údajů z ročenek ČHMÚ.



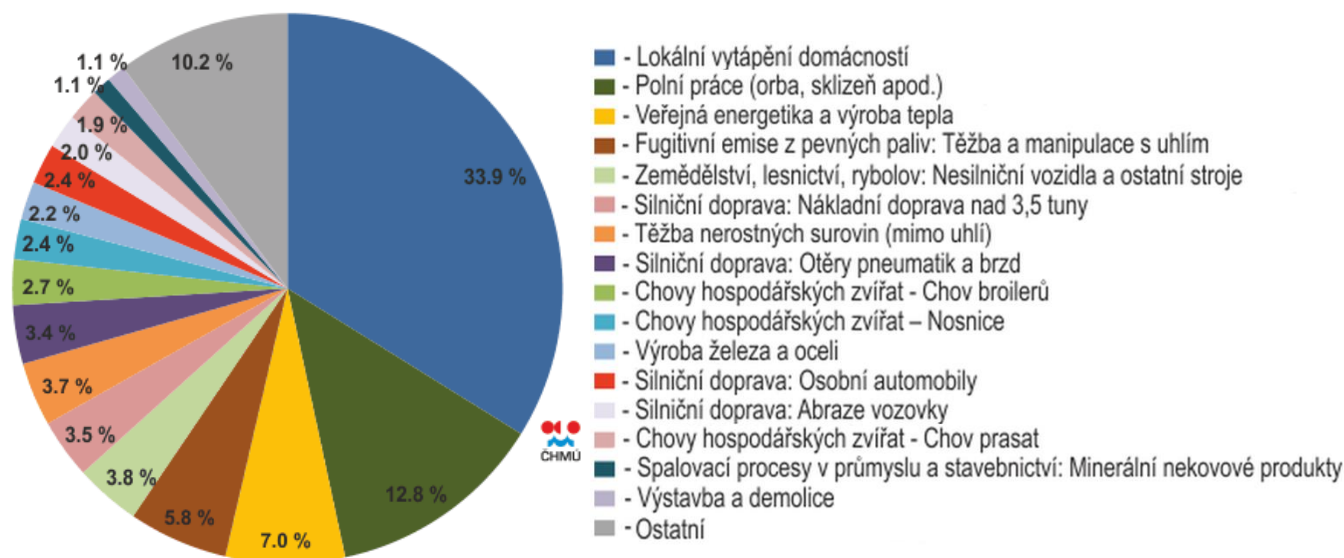
Obr. 3: Vývoj celkových emisí od 1990 do 2001



Obr. 4: Vývoj celkových emisí od 2002 do 2014

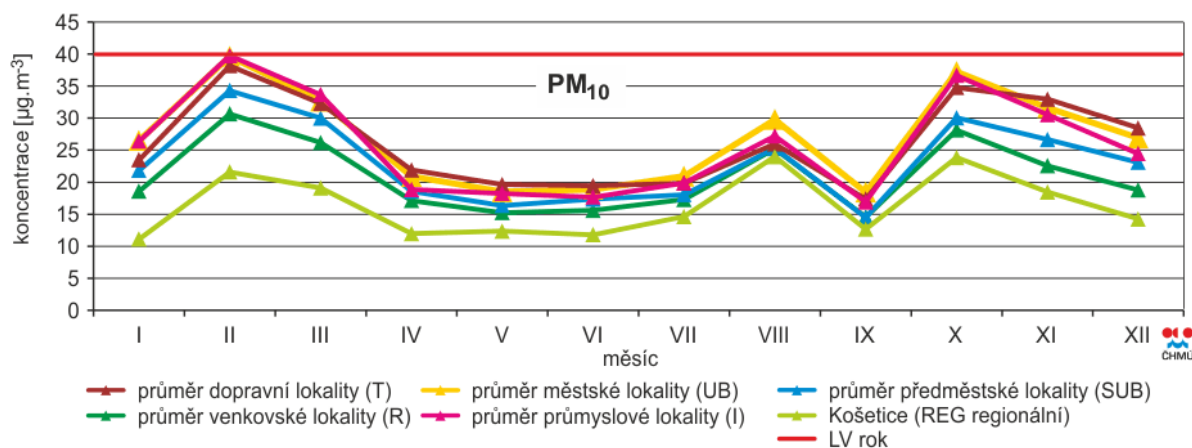
5.1. PM₁₀

Mezi hlavní zdroje emisí frakce PM₁₀ suspendovaných částic patří lokální vytápění domácností, které má třetinový podíl na celkových emisích, dále polní práce (12,8 %), veřejná energetika a výroba tepla (7 %). Podrobné procentuální zastoupení zdrojů emisí za rok 2014 je na obrázku číslo 5.



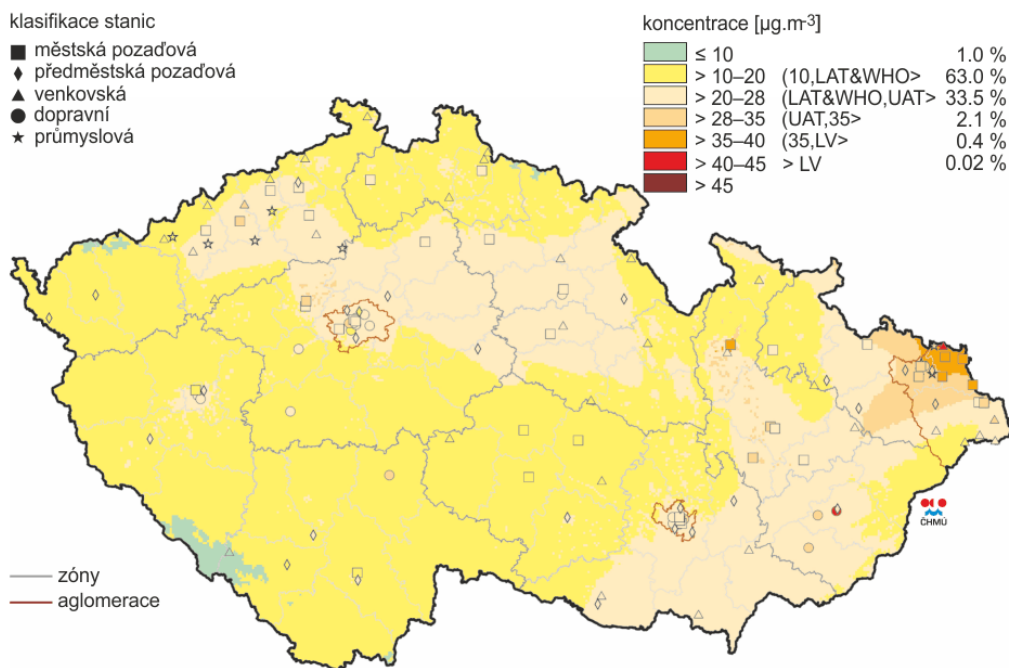
Obr. 5: Zdroje emisí PM₁₀ a jejich podíl na znečištění ovzduší za rok 2014

Na obrázku číslo 6 lze vidět koncentraci emisí v jednotlivých měsících během roku 2015. Je zde znatelný nárůst během zimních měsíců z důvodu zhoršení rozptylových podmínek a kvůli použití sezónních tepelných zdrojů. Zvýšená koncentrace byla zaznamenána také v srpnu, příčinou byly velmi vysoké teploty a podprůměrné množství srážek.



Obr. 6: Roční chod průměrných měsíčních koncentrací PM₁₀

Na obrázku číslo 7 je zaznamenány roční průměrné koncentrace PM_{10} za rok 2015, nadlimitní koncentrace byly převážně v oblasti Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek. Důvodem jsou významné průmyslové zdroje a také geomorfologické podmínky, které způsobují špatný rozptyl znečišťujících látek.

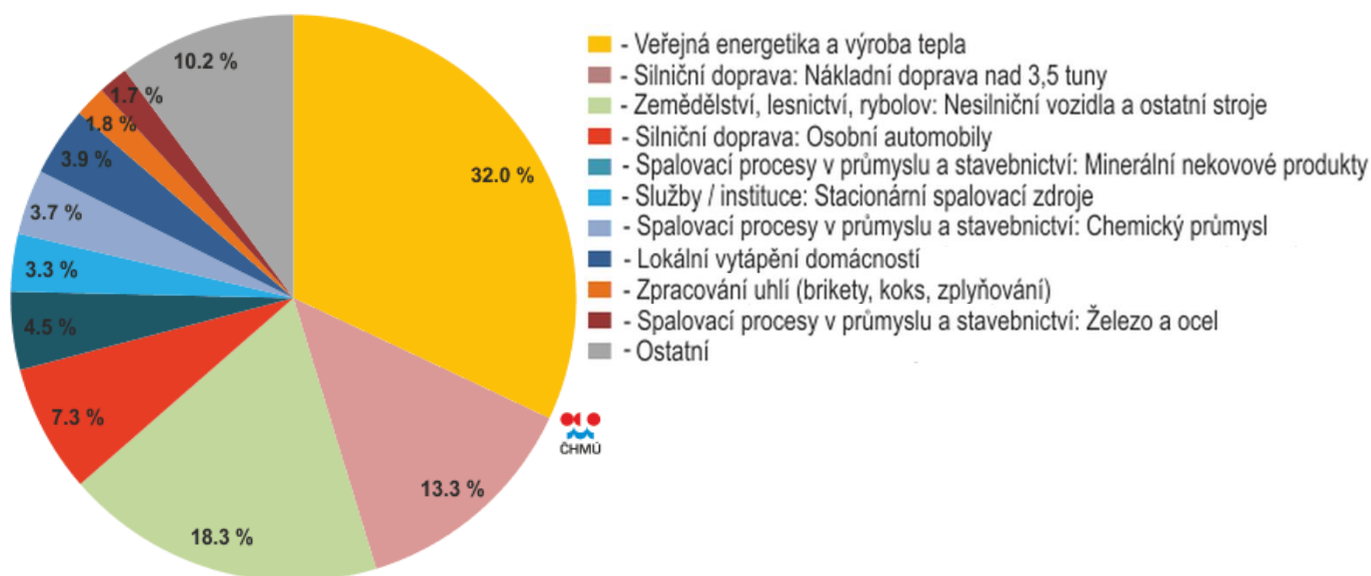


Obr. 7: Roční průměrné koncentrace PM_{10} v roce 2015

V roce 2015 byl překročen roční imisní limit PM_{10} na třech stanicích z celkového počtu 132 stanic v České republice. Na 29 stanicích z celkového počtu 124 stanic s dostatečnými daty pro vyhodnocení došlo k překročení 24hodinového imisního limitu. V roce 2014 došlo k častějšímu a většímu překročení těchto limitů, v roce 2015 lze tedy vidět zlepšení. Významný vliv na denní koncentrace mají meteorologické a rozptylové podmínky.

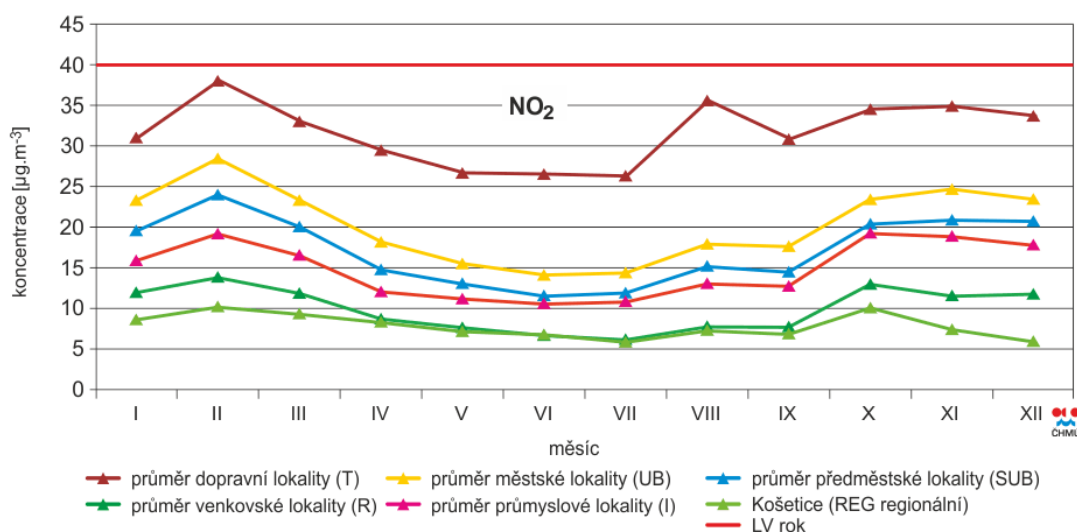
5.2. Oxidy dusíku (NO_x)

Doprava má na svědomí 38,9 % množství emisí, dále oxidy dusíku vnáší do ovzduší veřejná energetika a výroba tepla (32 %). Graf všech hlavních zdrojů podílejících se na znečišťování těmito látkami je na obrázku číslo 8.



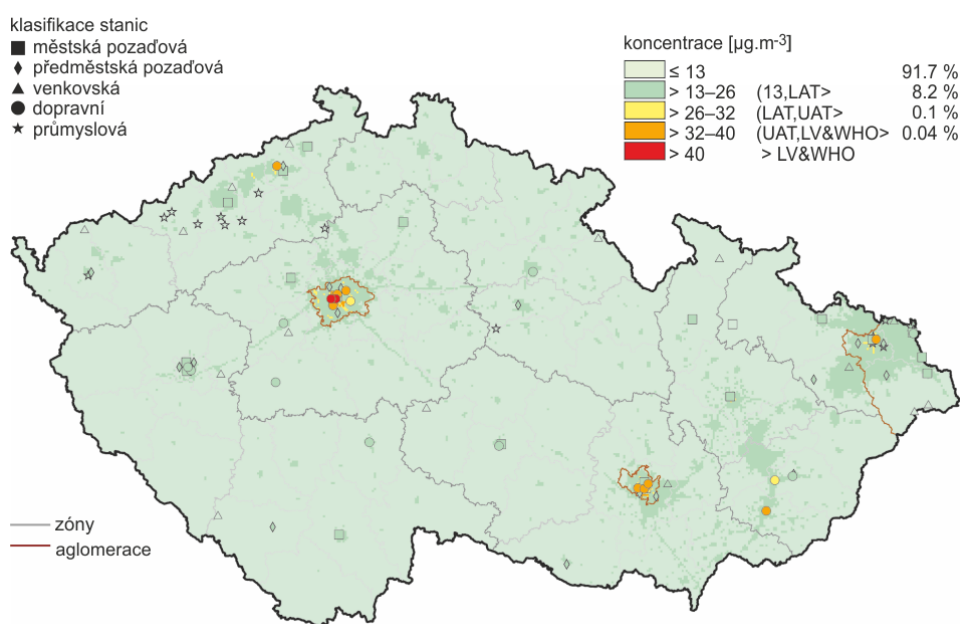
Obr. 8: Zdroje emisí NO_x a jejich podíl na znečištění ovzduší za rok 2014

Od dubna do září je zaznamenán pokles koncentrací NO₂. Během tohoto období je zvýšená intenzita solární radiace a díky tomu se NO₂ rozkládá na NO a O. Koncentrace oxidu dusičitého sice klesá, ale vzniká nebezpečný přízemní ozon, jehož koncentrace se v tomto uvedeném období naopak zvyšuje. Roční chod průměrných měsíčních koncentrací NO₂ je na obrázku číslo 9.

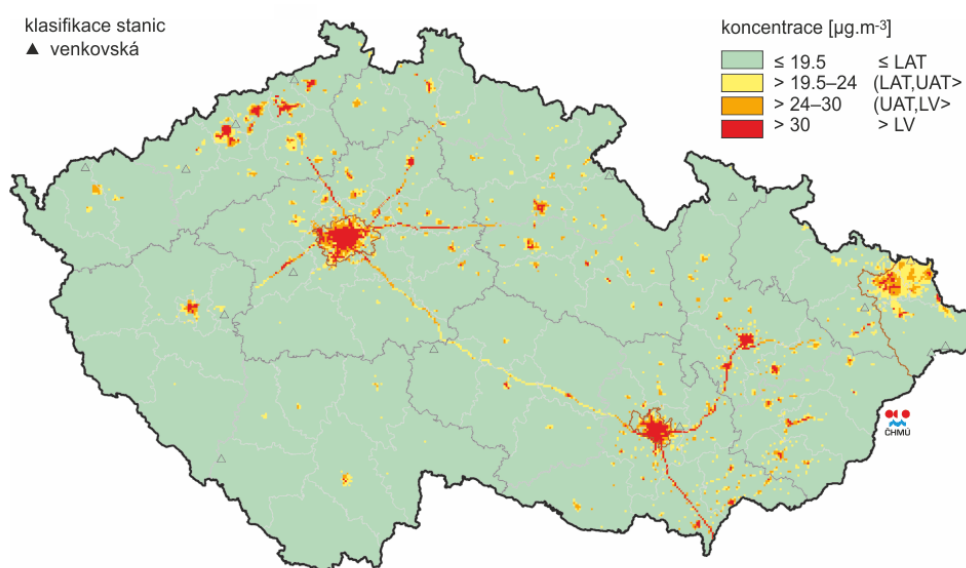


Obr. 9: Roční chod průměrných měsíčních koncentrací NO₂

Největší problém se znečištěním ovzduší oxidy dusíku je ve městech a dalších místech, kde je velmi hustá doprava. Proto je nejvyšších hodnot koncentrací dosahováno v Praze, Brně, Ostravě a mohou být zvýšené i v okolí frekventovaných pozemních komunikací nebo v místech, kde jsou umístěny velké energetické zdroje (viz obrázek číslo 10 a 11). Imisní limit pro ochranu zdraví je určen pro látku NO_2 a imisní limity pro NO_x se týkají ochrany ekosystémů a vegetace.



Obr. 10: Roční průměrné koncentrace NO_2 v roce 2015

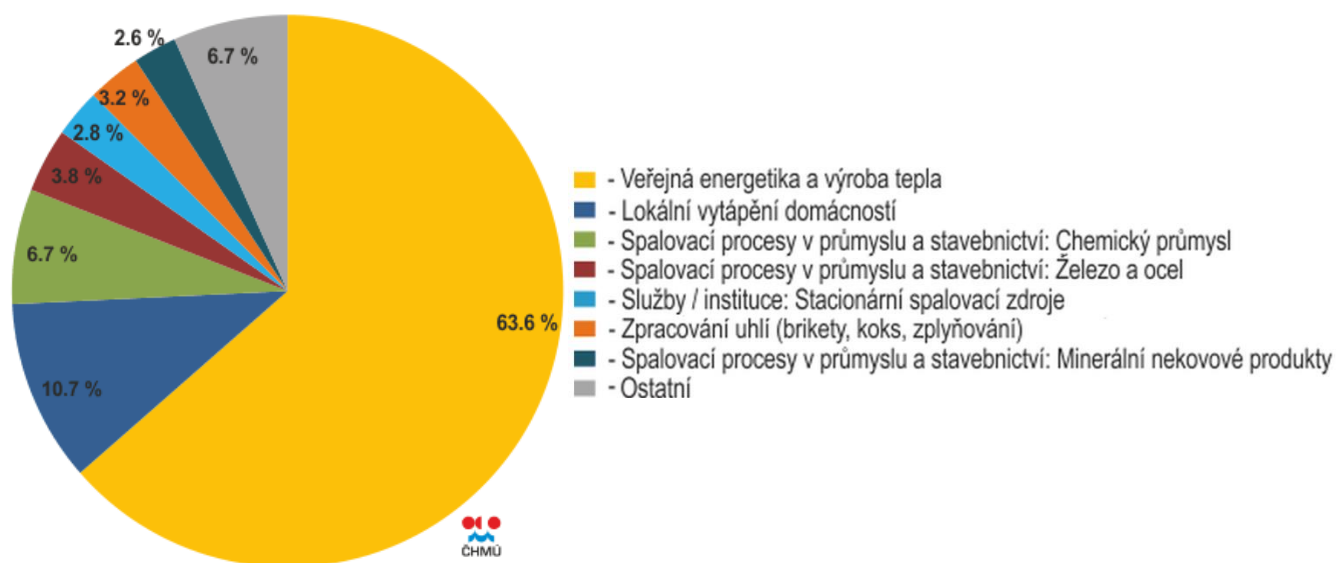


Obr. 11: Roční průměrné koncentrace NO_x v roce 2015

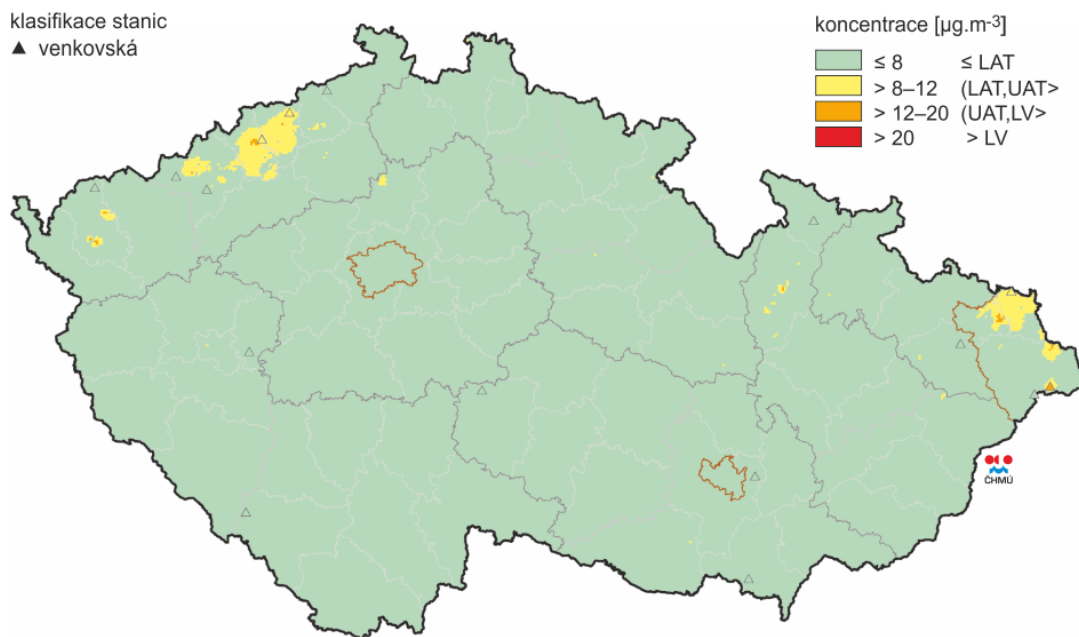
Vzhledem k imisním limitům pro ochranu zdraví byl roční limit NO₂ v roce 2015 překročen jen ve dvou pražských stanicích z celkových 93 lokalit. Hodinové koncentrace této znečišťující látky byly překročeny na třech stanicích (2 v Praze a 1 v Plzni). Vzhledem k imisním limitům pro ochranu ekosystémů a vegetace nebyl v roce 2015 na žádné z 16 stanic překročen imisní limit pro roční koncentraci NO_x.

5.3. Oxid siřičitý (SO₂)

Největší podíl na množství emisí SO₂ má veřejná energetika a výroba tepla (63,6 %), dále lokální vytápění domácností (10,7 %), chemický průmysl (6,7 %). Všechny hlavní zdroje emisí SO₂ a jejich procentuální zastoupení je na obrázku číslo 12.



Obr. 12: Zdroje emisí SO₂ a jejich podíl na znečištění ovzduší za rok 2014



Obr. 13: Roční průměrné koncentrace SO_2 v roce 2015

24 hodinový limit v roce 2015 nebyl překročen ani na jedné měřicí stanici, pouze ve čtyřech místech byl překročen limit pro hodinovou koncentraci SO_2 . Počet těchto překročení byl menší než 24x za rok. Na malých plochách Karlovarského, Ústeckého, Olomouckého a Moravskoslezského kraje došlo k překročení horní meze pro posuzování (UAT) roční průměrné koncentrace oxidu siřičitého (viz obrázek číslo 13). Zhoršená imisní situace v oblasti Podkrušnohorské pánve a Ostravy/Karviné/Frýdku-Místku je způsobena zejména významnými energetickými a průmyslovými zdroji, které se v těchto oblastech nacházejí.

6. ŠÍŘENÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK V OVZDUŠÍ

6.1. Přenos a rozptyl znečišťujících látek

Pomocí přenosu se jednotlivé částice znečišťující látky přemísťují z jednoho místa do druhého. Je to velmi složitý proces, do kterého se zahrnuje rozptyl emisí v přízemních vrstvách atmosféry (v troposféře), suchá depozice látek (usazení látek na zemský povrch), mokrá depozice látek, kterou způsobují dešťové srážky, dále fyzikální a chemické změny v atmosféře. [1]

Přenos znečišťujících látek lze dělit dle prostorového měřítka na přenos na krátké, střední a dlouhé vzdálenosti.

Přenos na krátké vzdálenosti - do 100 km (lokální měřítko)

Znečištění okolí je nejvíce ovlivňováno jedním nebo více nepříliš vzdálenými zdroji. Zdroj znečištění působí na imisní situaci v minutách až hodinách. Mokrá depozice, suchá depozice ani chemické transpozice zde nehrají velkou roli. Jedinou výjimkou jsou látky, které podléhají rychlým chemickým změnám. Kouřové vlečky se šíří ve svislém i vodorovném směru mezi nejnižší zadržující vrstvou a zemským povrchem. [1]

Přenos na střední vzdálenosti – stovky km (regionální měřítko)

V regionálním měřítku lze uvažovat vliv jednotlivých velkých zdrojů, nemusí být však dominantní. Může je převážít působení menších zdrojů, které se uplatňují v lokálním měřítku. Časové působení je řádově desítky hodin. Při přenosu na střední vzdálenosti lze uplatnit depoziční a transformační procesy. [1]

Přenos na dlouhé vzdálenosti – kontinenty nebo ještě větší vzdálenosti (globální měřítko)

Na rozdíl od přenosu na krátkou a střední vzdálenost nelze rozlišit příspěvky jednotlivých zdrojů. Časové měřítko dosahuje řádově několika dní. Nejvíce se během přenosu uplatňují chemické a fyzikální transformace, suchá a mokrá depozice. [1]

Pojem rozptyl je v úzkém smyslu pouze zředování emisí, v širším smyslu se započítávají i děje, které probíhají v přízemní vrstvě. V mezní vrstvě atmosféry je rozptyl nejvýraznější a ovlivňuje ho mnoho faktorů. Vliv mají zejména fyzikální vlastnosti atmosféry – proudění vzduchu, stabilita atmosféry, atmosférický tlak, dále tvar zemského povrchu. [1]

6.2. Vertikální zvrstvení atmosféry

Vertikální teplotní zvrstvení atmosféry má největší vliv na rozptyl znečišťujících látek z bodového zdroje, charakterizuje ho vertikální gradient teploty γ [$^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$], který je definován vztahem:

$$\gamma = -\frac{dt}{dz}, \quad (6.1)$$

kde t [$^{\circ}\text{C}$] je teplota vzduchu a z [m] je výška nad terénem.

Teplotu v hladině lze určit podle vztahu:

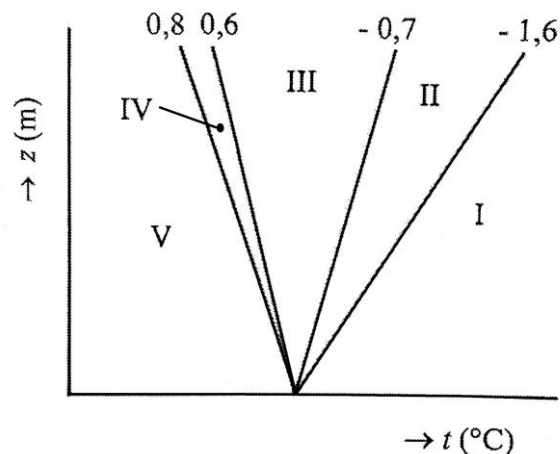
$$T(z) = T_0 - \gamma (z - z_0), \quad (6.2)$$

kde T_0 [$^{\circ}\text{C}$] je teplota ve výchozí hladině z_0 [m].

Vertikální zvrstvení atmosféry je závislé na stabilitě atmosféry, ta vyjadřuje schopnost atmosféry potlačit vertikální pohyby. Stabilita se dělí na pět tříd podle teplotního gradientu γ , jednotlivé třídy a hodnoty γ jsou uvedeny v tabulce číslo 4 a grafické vyjádření tříd stability podle teplotního gradientu je na obrázku č. 14.

Tab. 4: Třídy stability podle teplotního gradientu γ a jejich význam [1]

Třída stability	Název	Rozsah γ	Význam	P
I	superstabilní	$\gamma < -1,6$	Silná inverze (velmi špatné rozptylové podmínky)	0,33
II	stabilní	$-0,16 \leq \gamma < -0,7$	Běžná inverze (špatné rozptylové podmínky)	0,25
III	izotermní	$-0,7 \leq \gamma < 0,6$	Izotermie až slabá inverze (mírně zhoršené rozptylové podmínky)	0,18
IV	normální	$0,6 \leq \gamma \leq 0,8$	Indiferentní (adiabatické) teplotní zvrstvení (dobré rozptylové podmínky)	0,14
V	konvektivní	$\gamma > 0,8$	Labilní teplotní zvrstvení (rychlý rozptyl)	0,10



Obr. 14: Grafické vyjádření tříd stability podle vertikálního gradientu teploty γ

Základem pro zhodnocení stability je adiabatická změna, kdy se při pohybu částic vzhůru do nové polohy nevyměňuje teplo s okolím. Tlak v okolí stoupajících částic klesá, dochází k rozpínání molekul a následnému ochlazení.

Hodnota teplotního gradientu při vertikálním přemístění při adiabatické změně pro suchý vzduch (tzv. suchoadiabatický teplotní gradient γ_s) je $\gamma_s = 0,98 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$. Pro nasycený vzduch při adiabatické změně při vertikálním přemístění je hodnota gradientu $\gamma_v = 0,65 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$. Dochází zde ke kondenzaci vodní páry při ochlazování, a to zapříčiňuje snížení vlhkoadiabatického teplotního gradientu γ_v .

V běžném reálně vlhkém vzduchu je hodnota adiabatického teplotního gradientu $\gamma_{ad} = 0,65 - 1 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$. Pohybuje se tedy mezi hodnotami gradientu pro suchý a nasycený vzduch.

Pokud porovnáme skutečný vertikální gradient teploty γ a adiabatický teplotní gradient γ_{ad} , mohou nastat tři následující stavy:

$\gamma = \gamma_{ad}$ – neutrální rovnováha

Na přemístěné částice nepůsobí žádná síla.

$\gamma > \gamma_{ad}$ – labilní teplotní zvrstvení

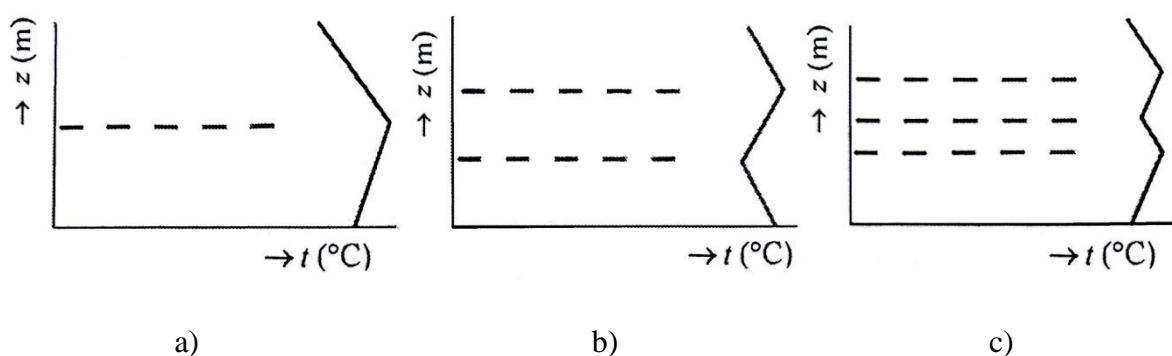
Přemísťovaná částice má vyšší teplotu a nižší hustotu než okolní vzduch.

Působí na ní vztlaková síla podle Archimedova zákona, proto se pohybuje rychleji a snadněji vzhůru od původní polohy.

$\gamma < \gamma_{ad}$ – stabilní teplotní zvrstvení

Na přemístěnou částici působí vertikální síla, která se jí snaží zabránit pohybu vzhůru a snaží se ji dostat do původní polohy.

Teplota vzduchu v troposféře se stoupající výškou klesá, v některých případech však může stoupat ($\gamma < 0$). Tento stav se nazývá teplotní inverze, ta potlačuje vertikální pohyby v atmosféře. Na obrázku č. 15. jsou vyobrazené typy inverze v závislosti na výšce. [1]



Obr. 15: a) přízemní inverze, b) výšková inverze, c) přízemní i výšková inverze

Přízemní inverze vzniká převážně v zimě radiací, když noční ochlazení země není dostatečně vyrovnáno slunečním zářením, inverze může přetrvávat i ve dne. Nejčastěji vzniká v kotlinách a okolo městských aglomerací.

Výšková inverze může vznikat radiálně nebo může být příčinou proudění vzduchu v oblastech s vysokým tlakem, kde se vytváří vertikální sestupný proud vzduchu, který pomalu klesá k povrchu, adiabaticky se ohřívá a vytváří inverzní vrstvu nad chladnějším vzduchem. Tento stav se nazývá subsidenční inverze.

V atmosféře může také nastat kombinace přízemní a výškové inverze. Do kontrolované oblasti proudí vzduch o vyšší teplotě, kde se nachází chladnější vzduch a působením teplého se rozdělí na dvě části. Tento mechanismus se nazývá advekční inverze.

6.3. Rychlost větru

Rozptyl a přenos znečišťujících látek je ovlivněn mimo jiné i rychlostí větru, ta se měří zpravidla ve výšce 10 metrů. Rychlost větru u_h [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] ve výšce h [m] lze pak dopočítat podle vztahu:

$$u_h = u_{10} \left(\frac{h}{10} \right)^P, \quad (6.3)$$

kde u_{10} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] je rychlost větru ve výšce 10 metrů a P je parametr, který závisí na třídě stability a je uveden v tabulce č. 4.

Rychlost větru se pro účely výpočtu rozptylu dělí na tři třídy – slabý, mírný a silný vítr. Rozsah rychlosti a třídní rychlost větru pro jednotlivé třídy je uvedena v tabulce č. 5.

Tab. 5: Rozdělení rychlostí do tříd [1]

Označení třídy	Název třídy	Rozsah rychlosti u_{10} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	Třídní rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
1. třída	slabý vítr	$0 < u_{10} \leq 2,5$	1,7
2. třída	mírný vítr	$2,5 < u_{10} \leq 7,5$	5,0
3. třída	silný vítr	$u_{10} > 7,5$	11,0

Jak již bylo řečeno, jsou známy 3 třídy rychlosti větru a 5 tříd stability. Není možné, aby byly všechny třídy stability v reálném ovzduší kombinované se všemi třídami větru. Například při stabilní třídě stability může vát jen slabý a mírný vítr ($u_{10} = 0 - 5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Pokud by vanul silný, rozptylová situace a přenos znečišťujících látek by se automaticky zlepšil, už by se nejednalo o stabilní třídu. Všechny třídy stability a výskyt tříd rychlostí větru při dané stabilitě jsou v tabulce č. 6.

Tab. 6: Existující kombinace třídy stability a třídy rychlosti větru [1]

Třída stability	Název	Výskyt tříd rychlostí větru
I	Superstabilní	1.
II	Stabilní	1., 2.
III	Izotermní	1., 2., 3.
IV	Normální	1., 2., 3.
V	Konvektivní	1., 2.

Četnost větru podle rychlosti větru, směru větru a třídy stability atmosféry udává větrná růžice. Detailní větrná růžice bývá zapsána v tabulce. Existuje i zjednodušená grafická podoba, kde je zaznamenána střední rychlost větru v daném směru a relativní četnost výskytu větru v daném směru během roku. [1]

6.4. Kouřová vlečka

Kouřová vlečka vzniká při vypouštění znečišťujících látek z bodového zdroje (komínu). Má tvar kužele s vodorovnou osou ve výšce h , kterou můžeme dopočítat podle vztahu:

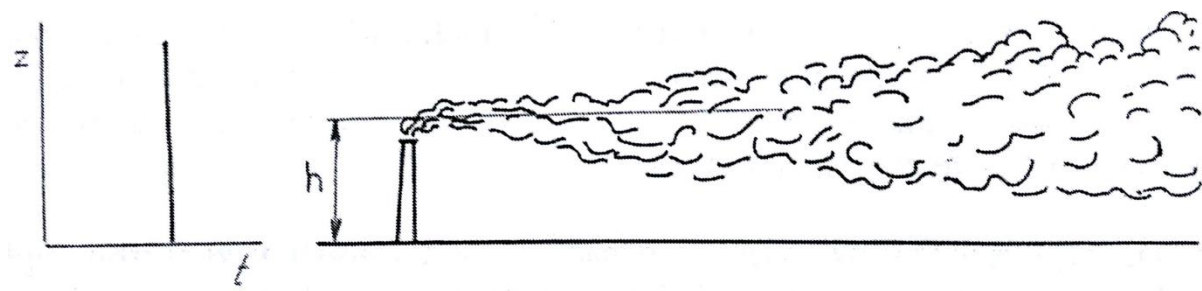
$$h = H + \Delta h, \quad (6.4)$$

kde h [m] je efektivní výška zdroje, H [m] je výška komína a Δh [m] je převýšení kouřové vlečky, které je závislé na tepelné vydatnosti zdroje Q [MW], teplotě spalin t_s [°C], vnitřním průměru vršku komína d [m], výstupní rychlosti exhalací w_0 [m.s⁻¹], rychlosti větru u_H [m.s⁻¹], stabilitě atmosféry a vzdálenosti od zdroje x [m].

Kouřové vlečky se dělí do šesti základních typů dle rozptylových a přenosových podmínek. Jednotlivé typy jsou popsány na následujících řádcích.

Vlnění (coning)

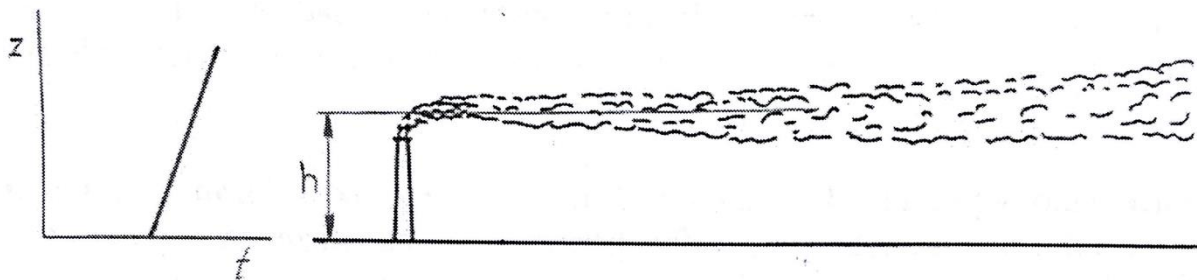
Při vlnění má kouřová vlečka tvar protáhlého kužele, uvnitř kužele dochází k mírnému vlnění. Dochází k němu za mírného až čerstvého vzduchu při adiabatickém až izotermním zvrstvení. U země nebývají vysoké koncentrace znečišťující látky. Znázornění vlnění je na obrázku č. 16. [1], [4], [11]



Obr. 16: Vlnění

Čeření (fanning)

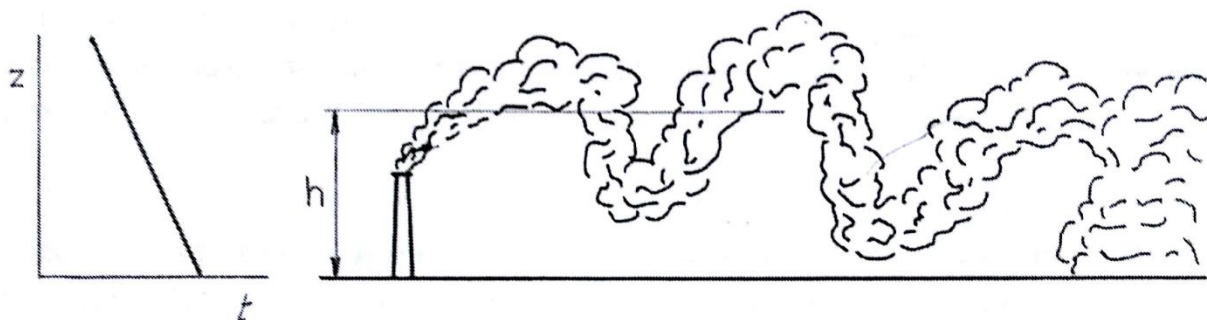
Tento typ kouřové vlečky jde zpozorovat při mírném proudění a stabilním teplotním zvrstvení (teplotní inverzi), které sahá nad horizontální osu vlečky. Šíří se převážně v horizontálním směru na dlouhé vzdálenosti, rozptyl ve vertikálním směru je velmi malý. K čeření nejčastěji dochází v brzkých ranních hodinách, v noci nebo za příznivých podmínek v zimním období po celý den. Zvýšené koncentrace znečišťující látky mohou hrozit na návětrné straně kopců. Znázornění čeření je na obrázku č. 17. [1], [4], [11]



Obr. 17: Čeření

Přemetání (looping)

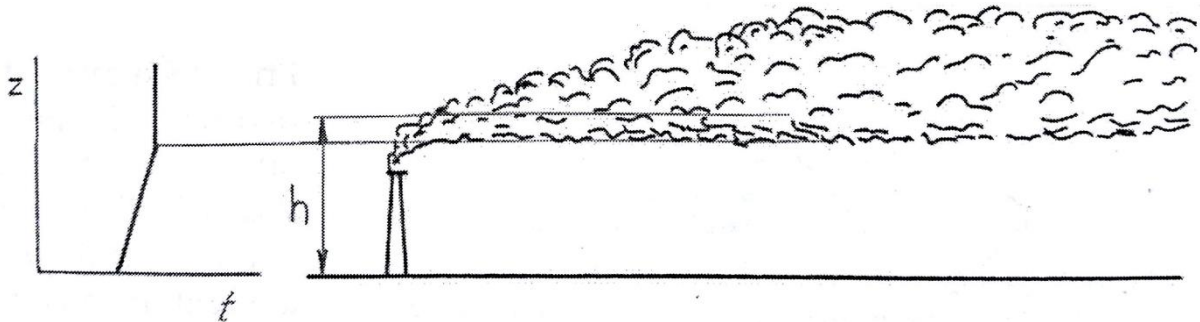
Přemetání kouřové vlečky lze sledovat při slabším větru a za labilního zvrstvení, které je typické pro horké, slunečné dny, kdy se vzduch hodně prohřívá. Dochází k velkým odchylkám od osy kouřové vlečky, která může být někdy strhávána až k zemi, proto mohou být koncentrace znečišťující látky u země při přemetání stejně vysoké jako v ose vlečky. K tomuto typu vlečky nejčastěji dochází u nižších zdrojů, které mají chladné emise. Znázornění přemetání je na obrázku č. 18. [1], [4], [11]



Obr. 18: Přemetání

Unášení (lofting)

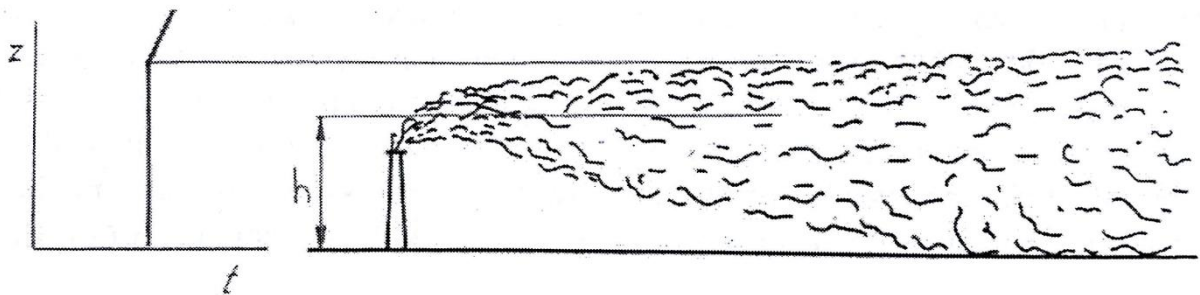
Unášení kouřové vlečky vzniká při výskytu přízemní inverze teploty, jejíž horní hranice je pod vrstvou, ve které se šíří vlečka. Znečišťující látka se pak rozptýluje pouze nad inverzí vzhůru a do stran, nedochází tedy k rozptýlu v přízemní vrstvě. Zvýšené koncentrace látky mohou hrozit na návětrné straně kopců. Znázornění unášení je na obrázku č. 19. [1], [11]



Obr. 19: Unášení

Zadýmování (fumigation)

Zadýmování představuje nebezpečnou rozptylovou situaci, protože se výška osy vlečky nachází pod hranicí výškové inverze, která brání rozptýlu látky ve vertikálním směru. Na zemském povrchu proto dochází k významnému zvyšování koncentrace znečišťujících látek. K zadýmování dochází, když se přízemní (noční) inverze mění během zvyšování teploty v dopoledních hodinách na izotermní, normální a nakonec labilní teplotní zvrstvení. Tento typ kouřové vlečky je typický hlavně pro nízké zdroje znečišťujících látek. Znázornění zadýmování je na obrázku č. 20. [1], [11]



Obr. 20: Zadýmování

Zadržování/odrážení (trapping)

Výsledná situace odražení je podobná zadýmování. Liší se výškou hranice inverze, dobou trvání a mechanismem vzniku. Výška hranice inverze může zasahovat velmi vysoko, proto se tento problém netýká jen nižších zdrojů, ale i vysokých. Tato situace může trvat i několik dní a je to hlavní příčina smogových situací ve městech. [1], [11]

7. SYMOS'97

Příručka SYMOS'97 se zabývá výpočty pro určení znečištění ovzduší způsobené bodovými, liniovými a plošnými zdroji. Obsahuje popis vstupních údajů, základní rovnice výpočtu, postup výpočtu hlavních charakteristik znečištění ovzduší. Příručka je určena pro vypracování rozptylových studií k zhodnocení kvality ovzduší. [5]

Pro každý referenční bod umožňuje příručka výpočet roční průměrné koncentrace, dobu trvání koncentrací převyšující zadané hodnoty, maximální možné krátkodobé hodnoty koncentrací znečišťujících látek, které se mohou vyskytnout ve všech třídách rychlosti větru a stability ovzduší, maximální možné krátkodobé hodnoty koncentrací znečišťujících látek bez ohledu na třídu stability a rychlost větru. [5]

7.1. Vstupní údaje o zdroji, referenční body

Měření tuhých a plyných emisí unikajících z bodového zdroje proběhlo ve Výtopně Písek Samoty (viz tabulka číslo 7). Zdrojem pro měření byl kotel na těžký topný olej. V teplárně jsou umístěny tři tyto kotle, které slouží jako záložní zdroj, jenž je provozován při špičkových potřebách uživatelů v zimních měsících, při poruchách a v době letní odstávky základního zdroje, kterým jsou dva kotle na hnědé uhlí. Pro výpočet se uvažuje současný provoz dvou kotlů (se stejnými parametry dle údajů z měření), což odpovídá běžnému provozu v době odstávek. Nadmořská výška paty komína je 394 m n. m. Výška komína je 78 metrů. Provozní množství páry je $11 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$. Objemový tok spalin ze dvou kotlů je $7,82 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Teplota spalin v místě měření je $236 \text{ }^\circ\text{C}$ a na výstupu $186 \text{ }^\circ\text{C}$ (teplota na výstupu z komína se předpokládá nižší o $50 \text{ }^\circ\text{C}$ než v místě měření).

Tab. 7: Naměřené množství znečišťujících látek

Znečišťující látka	Jeden kotel		Dva kotle
	Hmotnostní tok M [g.h ⁻¹]	Hmotnostní tok M [g.s ⁻¹]	Hmotnostní tok M [g.s ⁻¹]
CO	85,942	0,0239	0,0477
NO ₂	4466,943	1,2408	2,4816
SO ₂	49304,874	13,6958	27,3916
TZL	727	0,2019	0,4039

Poloha zdroje Z je umístěna do počátku souřadnicového systému, referenční body jsou uvedeny na obrázku číslo 21 a údaje o nich (poloha vzhledem ke zdroji, nadmořská výška) v tabulce číslo 8. Byla vybrána místa, kde se nachází větší množství lidí. Všechny referenční body jsou počítány ve výšce $l = 1,5$ m nad terénem.



Obr. 21: Zdroj a referenční body

Tab. 8: Umístění referenčních bodů vzhledem ke zdroji, nadmořská výška

Označení	Vzdálenost [m]		Nadmořská výška terénu [m]	Charakteristika
	x_r	y_r		
Z	-	-	394	Komín
R1	480	1370	393	Nemocnice
R2	745	395	378	Základní škola
R3	785	3830	386	VOŠ
R4	1375	65	374	Sídliště

Určení tepelné vydatnosti zdroje:

$$Q = 10^{-3} \cdot V_s \cdot c_s \cdot (t_s - t_0) \quad (7.1)$$

$$Q = 10^{-3} \cdot 7,82 \cdot 1,371 \cdot (186 - 0) = 1,994 \text{ MW}$$

$V_s [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ je objemový tok spalin, $c_s [\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}]$ je měrná tepelná kapacita exhalací, $t_s [^\circ\text{C}]$ je teplota spalin v koruně komína, t_0 je teplota okolí, která se uvažuje $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Následující ukázkové výpočty jsou uvedené pro zadaný zdroj a referenční bod R1, 1. třídu rychlosti větru a střidu stability I.

7.2. Definice jednotlivých proměnných a parametrů

7.2.1. Určení horizontálních a vertikálních souřadnic

Při zjednodušeném řešení nahrazujícím složitý výpočet s určováním azimutu se při výpočtu maximální koncentrace uvažuje, že vítr proudí směrem od zdroje přímo k referenčnímu bodu. Vypočtené hodnoty souřadnic pro všechny referenční body jsou v tabulce číslo 9.

Pro výpočet horizontální vzdálenosti od zdroje znečišťujících látek se použijí následující vztahy:

$$x = \sqrt{(x_z - x_r)^2 + (y_z - y_r)^2} \quad (7.2)$$

$$x = \sqrt{(0 - 480)^2 + (0 - 1370)^2} = 1452 \text{ m}$$

$$x_L = x \cdot \cos\lambda \quad (7.3)$$

$$y_L = y \cdot \sin\lambda \quad (7.4)$$

$$x_L = 1452 \cdot \cos(0) = 1452 \text{ m}$$

$$y_L = 1452 \cdot \sin(0) = 0 \text{ m}$$

Kde x_z a y_z [m] jsou souřadnice zdroje, x_r a y_r [m] jsou souřadnice referenčního bodu a λ je úhel mezi směrem větru a spojnicí zdroj – referenční bod, v této práci $\lambda=0$.

Pro výpočet vertikální vzdálenosti od zdroje lze použít následující vzorec:

$$z = z_r - z_z \quad (7.5)$$

$$z = 393 - 394 = -1 \text{ m}$$

Kde z_r [m] je nadmořská výška terénu v místě referenčního bodu, z_z [m] je nadmořská výška terénu v místě zdroje.

Tab. 9: Vzdálenosti referenčních bodů od zdroje, převýšení terénu

Referenční body	x [m]	z [m]
R1	1452	-1
R2	843	-16
R3	3910	-8
R4	1377	-20

Vertikální proměnné z' , z'' , z''' [m] lze určit podle následujících vztahů:

$$z' = z + l \quad (7.6) \quad \text{pro } z + l \leq h_1$$

$$z' = h_1 \quad (7.7) \quad \text{pro } z + l > h_1$$

$$z'' = |z| + l \quad (7.8) \quad \text{pro } z + l \leq h_1$$

$$z'' = |z| + h_1 - z \quad (7.9) \quad \text{pro } z + l > h_1$$

$$z''' = z - l \quad (7.10) \quad \text{pro } z + l \leq h_1$$

$$z''' = 2 \cdot z - h_1 \quad (7.11) \quad \text{pro } z + l > h_1$$

Pro první referenční bod platí:

$$z + l \leq h_1 \quad (7.12)$$

$$-1 + 1,5 \leq 98,3$$

$$0,5 \leq 98,3$$

Protože platí tato nerovnice, jsou použity následující vzorce:

$$z' = z + l$$

$$z'' = |z| + l$$

$$z''' = z - l$$

$$z' = -1 + 1,5 = 0,5 \text{ m}$$

$$z'' = |-1| + 1,5 = 2,5 \text{ m}$$

$$z''' = -1 - 1,5 = -2,5 \text{ m}$$

Všechny vypočítané hodnoty z' , z'' , z''' [m] jsou uvedeny pro jednotlivé kombinace třídy stability a třídy rychlosti větru v tabulce číslo 10, 11, 12.

Tab. 10: Vertikální proměnné z' [m]

R1	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
	2. třída	5,0	-	0,5	0,5	0,5	0,50
	3. třída	11,0	-	-	0,5	0,5	-
R2	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5
	2. třída	5,0	-	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5
	3. třída	11,0	-	-	-14,5	-14,5	-
R3	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5
	2. třída	5,0	-	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5
	3. třída	11,0	-	-	-6,5	-6,5	-
R4	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	-18,5	-18,5	-18,5	-18,5	-18,5
	2. třída	5,0	-	-	-18,5	-18,5	-18,5
	3. třída	11,0	-	-	-18,5	-18,5	-

Tab. 11: Vertikální proměnné z'' [m]

R1	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	2. třída	5,0	-	2,5	2,5	2,5	2,5
	3. třída	11,0	-	-	2,5	2,5	-
R2	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
	2. třída	5,0	-	17,5	17,5	17,5	17,5
	3. třída	11,0	-	-	17,5	17,5	-
R3	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
	2. třída	5,0	-	9,5	9,5	9,5	9,5
	3. třída	11,0	-	-	9,5	9,5	-

R4	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5
	2. třída	5,0	-	21,5	21,5	21,5	21,5
	3. třída	11,0	-	-	21,5	21,5	-

Tab. 12: Vertikální proměnné z''' [m]

R1	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5
	2. třída	5,0	-	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5
	3. třída	11,0	-	-	-2,5	-2,5	-
R2	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	-17,5	-17,5	-17,5	-17,5	-17,5
	2. třída	5,0	-	-17,5	-17,5	-17,5	-17,5
	3. třída	11,0	-	-	-17,5	-17,5	-
R3	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5
	2. třída	5,0	-	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5
	3. třída	11,0	-	-	-9,5	-9,5	-
R4	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	-21,5	-21,5	-21,5	-21,5	-21,5
	2. třída	5,0	-	-21,5	-21,5	-21,5	-21,5
	3. třída	11,0	-	-	-21,5	-21,5	-

7.2.2. Koeficient vlivu terénu

Koeficient vlivu terénu zohledňuje vliv zvlněného terénu pro každou dvojici zdroj – referenční bod. Určuje se podle následujících vztahů:

$$\vartheta = \max\left(0, \frac{1}{x \cdot (z_r - z_z)} \cdot \int_0^x (z_1(x') - 2 \cdot z_2(x')) \cdot dx'\right) \quad (7.13) \quad \text{pro } z_r > z_z$$

$$\vartheta = 0 \quad (7.14) \quad \text{pro } z_r \leq z_z$$

Nadmořská výška všech zvolených referenčních bodů z_r je nižší než nadmořská výška zdroje z_z , proto platí pro všechny dvojice zdroj – referenční bod $\vartheta = 0$.

7.2.3. Rychlost větru ve výšce koruny komína

Způsob výpočtu vertikální rychlosti v místě koruny komína u_H [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] závisí na výšce komína H [m] následovně:

$$u_H = u_{10} \quad (7.15) \quad \text{pro } H \leq 10 \text{ m}$$

$$u_H = u_{10} \cdot \left(\frac{H}{10}\right)^p \quad (7.16) \quad \text{pro } 10 < H < 200 \text{ m}$$

$$u_H = u_{10} \cdot 20^p \quad (7.17) \quad \text{pro } H \geq 200 \text{ m}$$

Kde u_{10} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] je rychlost větru ve výšce 10 metrů nad povrchem země, hodnoty parametru p jsou uvedeny v tabulce číslo 13.

Tab. 13: Hodnoty parametru p [-]

Třída stability	Parametr p [-]
I	0,33
II	0,25
III	0,18
IV	0,14
V	0,10

Pro zadanou výšku $H = 78$ metrů, třídu stability I a 1. třídu větru platí:

$$u_H = 1,7 \cdot \left(\frac{78}{10}\right)^{0,33} = 3,35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Všechny vypočítané hodnoty pro existující kombinace tříd stability a tříd rychlosti větru jsou v tabulce číslo 14.

Tab. 14: Rychlost větru ve výšce koruny komína u_H [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

u_{10} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] \ třída stability		I	II	III	IV	V
1. třída větru	1,7	3,35	2,84	2,46	2,27	2,09
2. třída větru	5,0	-	8,36	7,24	6,67	6,14
3. třída větru	11,0	-	-	15,92	14,67	-

7.2.4. Efektivní výška zdroje

Efektivní výšku zdroje h [m] lze spočítat součtem výšky zdroje H [m] a výšky převýšení kouřové vlečky Δh [m].

$$h = H + \Delta h \quad (7.18)$$

Převýšení kouřové vlečky lze spočítat podle uvedených vzorců:

$$\Delta h = \left((1 - \beta) \frac{1,5 \cdot w_0 \cdot d}{u_H} + \beta \frac{K_s \cdot A \cdot Q^B}{u_H} \right) \cdot \left(\frac{x}{K_m \cdot \sqrt{Q}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (7.19) \quad \text{pro } x < K_m \cdot \sqrt{Q}$$

$$\Delta h = \left((1 - \beta) \frac{1,5 \cdot w_0 \cdot d}{u_H} + \beta \frac{K_s \cdot A \cdot Q^B}{u_H} \right) \quad (7.20) \quad \text{pro } x \geq K_m \cdot \sqrt{Q}$$

Kde w_0 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] je výstupní rychlost exhalací, d [m] je vnitřní průměr koruny komína, Q [MW] je tepelná vydatnost zdroje, u_H [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] je rychlost ve výšce koruny komína. K_s (korelace na teplotní stabilitu atmosféry), K_m (postupný vznos vlečky v blízkosti zdroje) a ε (vliv

terénu) jsou konstanty uvedené v tabulce číslo 15. Hodnoty konstant A, B se odvíjejí od tepelné vydatnosti Q. Pokud je $Q \geq 20$ MW je hodnota A=30 a B=0,7. Pokud $Q < 20$ MW je hodnota A=90 a B=1/3. Hodnota koeficientu β závisí na teplotě spalin t_s [°C] následovně:

$$\beta = 1 \quad (7.21) \quad \text{pro } t_s \geq 80 \text{ °C}$$

$$\beta = \frac{t_s - 30}{50} \quad (7.22) \quad \text{pro } 30 < t_s < 80 \text{ °C}$$

$$\beta = 0 \quad (7.23) \quad \text{pro } t_s \leq 30 \text{ °C}$$

Tab. 15: Hodnoty konstant K_s , K_m a ε [-] pro výpočet efektivní výšky

Třída stability	K_s [-]	K_m [-]	ε [-]
I	0,60	184	0,05
II	0,78	200	0,10
III	1,00	236	0,20
IV	1,14	300	0,30
V	1,24	411	0,50

Pro první referenční bod R1, třídu stability I a 1. třídu větru je výpočet uveden na následujících řádcích. Pro ostatní referenční body jsou výsledky v tabulce číslo 16.

$$x \geq K_m \cdot \sqrt{Q} \quad (7.24)$$

$$1452 \geq 184 \cdot \sqrt{1,994}$$

$$1452 \geq 259,82$$

$$\Delta h = \left(0 + 1 \frac{0,6 \cdot 90 \cdot 1,994^{1/3}}{3,35} \right) = 20,3 \text{ m}$$

$$h = H + \Delta h = 78 + 20,29 = 98,3 \text{ m}$$

Tab. 16: Efektivní výška zdroje h [m]

R1	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	98,30	109,10	124,04	134,98	145,28
	2. třída	5,0	-	88,57	93,65	97,37	100,88
	3. třída	11,0	-	-	85,12	86,81	-
R2	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	98,30	109,10	124,04	134,98	145,28
	2. třída	5,0	-	88,57	93,65	97,37	100,88
	3. třída	11,0	-	-	85,12	86,81	-
R3	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	98,30	109,10	124,04	134,98	145,28
	2. třída	5,0	-	88,57	93,65	97,37	100,88
	3. třída	11,0	-	-	85,12	86,81	-
R4	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	98,30	109,10	124,04	134,98	145,28
	2. třída	5,0	-	88,57	93,65	97,37	100,88
	3. třída	11,0	-	-	85,12	86,81	-

Vztah $x \geq K_m \cdot \sqrt{Q}$ (hodnoty x [m] pro všechny referenční body jsou v tabulce číslo 9) platí pro všechny referenční body při všech třídách stability, proto se pro výpočet používá jen rovnice (7.20), která není závislá na vzdálenosti x od zdroje.

Efektivní výška h_1 [m] s korekcí na vliv terénu se spočítá dle vztahu:

$$h_1 = z_m + \varepsilon \cdot h \quad (7.25) \quad \text{pro } z_m > (1 - \varepsilon) \cdot h$$

$$h_1 = h \quad (7.26) \quad \text{pro } z_m \leq (1 - \varepsilon) \cdot h$$

Kde z_m [m] je maximální výška terénu nad úrovní komína mezi zdrojem a referenčním bodem, ε [-] je korekční koeficient převýšení vlečky (viz tabulka číslo 15). Pro referenční bod R1, třídu stability I a 1. třídu větru platí:

$$z_m^{R1} = z_r - (z_z + H) \quad (7.27)$$

$$z_m^{R1} = 393 - (394 + 78) = -79m$$

$$-79 \leq (1 - 0,05) \cdot 98,3$$

$$-79 \leq 93,4$$

$$h_1 = h = 98,3$$

Pro všechny referenční body vychází z_m záporné. To znamená, že mezi korunou komína a referenčním bodem je nižší terén než koruna komína. Proto pro R1-R4 platí $h_1 = h$ při všech existujících kombinacích tříd větru a stability. Hodnoty efektivní výšky s korelací jsou v tabulce číslo 17.

Tab. 17: Efektivní výška zdroje s korelací h_1 [m]

R1	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	98,30	109,10	124,04	134,98	145,28
	2. třída	5,0	-	88,57	93,65	97,37	100,88
	3. třída	11,0	-	-	85,12	86,81	-
R2	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	98,30	109,10	124,04	134,98	145,28
	2. třída	5,0	-	88,57	93,65	97,37	100,88
	3. třída	11,0	-	-	85,12	86,81	-
R3	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	98,30	109,10	124,04	134,98	145,28
	2. třída	5,0	-	88,57	93,65	97,37	100,88
	3. třída	11,0	-	-	85,12	86,81	-
R4	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	98,30	109,10	124,04	134,98	145,28
	2. třída	5,0	-	88,57	93,65	97,37	100,88
	3. třída	11,0	-	-	85,12	86,81	-

7.2.5. Rychlost větru v efektivní výšce zdroje

Způsob výpočtu rychlosti větru u_h [$m \cdot s^{-1}$] v efektivní výšce zdroje závisí na efektivní výšce h_1 [m] následovně:

$$u_h = u_{10} \quad (7.28) \quad \text{pro } h_1 \leq 10 \text{ m}$$

$$u_h = u_{10} \cdot \left(\frac{h_1}{10}\right)^p \quad (7.29) \quad \text{pro } 10 < h_1 < 200 \text{ m}$$

$$u_h = u_{10} \cdot 20^p \quad (7.30) \quad \text{pro } h_1 \geq 200 \text{ m}$$

Kde u_{10} [$m \cdot s^{-1}$] je rychlost větru ve výšce 10 metrů nad povrchem země, hodnoty parametru p jsou uvedeny výše, v tabulce číslo 13.

Pro první referenční bod, třídu stability atmosféry I a 1. třídu větru platí:

$$u_h = 1,7 \cdot \left(\frac{98,3}{10}\right)^{0,33} = 3,61 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Vypočítané hodnoty rychlosti větru v efektivní výšce zdroje pro všechny referenční body a pro existující kombinace tříd stability a tříd větru jsou v tabulce číslo 18.

Tab. 18: Rychlost větru u_h [$m \cdot s^{-1}$] v efektivní výšce zdroje

R1	u_{10} [$m \cdot s^{-1}$] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	3,61	3,09	2,67	2,45	2,22
	2. třída	5,0	-	8,63	7,48	6,88	6,30
	3. třída	11,0	-	-	16,17	14,89	-
R2	u_{10} [$m \cdot s^{-1}$] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	3,56	3,04	2,64	2,42	2,20
	2. třída	5,0	-	8,57	7,43	6,84	6,27
	3. třída	11,0	-	-	16,12	14,84	-
R3	u_{10} [$m \cdot s^{-1}$] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	3,56	3,04	2,64	2,42	2,20
	2. třída	5,0	-	8,57	7,43	6,84	6,27
	3. třída	11,0	-	-	16,12	14,84	-
R4	u_{10} [$m \cdot s^{-1}$] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	3,56	3,04	2,64	2,42	2,20
	2. třída	5,0	-	8,57	7,43	6,84	6,27
	3. třída	11,0	-	-	16,12	14,84	-

7.2.6. Rozptylové parametry pro bodové zdroje

Rozptylové parametry popisují rychlost rozšiřování vlečky od zdroje v závislosti na vzdálenosti x_L od zdroje ve směru větru. Lze je vypočítat podle vztahů:

$$\sigma_y = a_y \cdot x_L^{b_y} \quad (7.31)$$

$$\sigma_z = a_z \cdot x_L^{b_z} \quad (7.32)$$

Kde a_y , b_y , a_z , b_z [-] jsou koeficienty, které závisí na třídě stability atmosféry. Hodnoty koeficientů pro hodinové imisní koncentrace jsou uvedeny v tabulce číslo 19.

Tab. 19: Hodnoty konstant pro výpočet rozptylových parametrů

Třída stability	a_y [-]	b_y [-]	a_z [-]	b_z [-]
I	0,1042	0,8844	0,5461	0,5076
II	0,1195	0,8930	0,4980	0,5797
III	0,1400	0,8986	0,4221	0,6564
IV	0,1684	0,9018	0,3158	0,7549
V	0,2898	0,8831	0,1740	0,9729

Vzdálenost x_L od zdroje se v tomto případě rovná x . Pro první referenční bod a třídu stability I platí:

$$\sigma_y = 0,1042 \cdot 1452^{0,8844} = 65,20 \text{ m}$$

$$\sigma_z = 0,5461 \cdot 1452^{0,5076} = 21,99 \text{ m}$$

Vypočítané hodnoty pro všechny referenční body a třídy stability atmosféry jsou uvedeny v tabulce číslo 20.

Tab. 20: Hodnoty rozptylových parametrů

Referenční bod	Rozptyl. parametry \ Tř. stab.	I	II	III	IV	V
R1	σ_y [m]	65,20	79,60	97,14	119,59	179,61
	σ_z [m]	21,99	33,90	50,22	76,97	207,36
R2	σ_y [m]	40,33	49,01	59,62	73,28	111,17
	σ_z [m]	16,69	24,74	35,16	51,08	122,24
R3	σ_y [m]	156,59	192,82	236,60	292,23	430,84
	σ_z [m]	36,36	60,20	96,23	162,60	543,67
R4	σ_y [m]	62,20	75,91	92,61	114,00	171,38
	σ_z [m]	21,41	32,87	48,50	73,94	196,91

7.2.7. Zahrnutí depozice a transformace znečišťujících látek

Znečišťující látky podléhají v atmosféře různým chemickým nebo fyzikálním procesům. Ve výpočtech se to zohledňuje pomocí koeficientu odstraňování k_u , jehož hodnoty pro sledované látky jsou uvedeny v tabulce číslo 21.

Tab. 21: Hodnoty koeficientu odstraňování k_u [s^{-1}]

Znečišťující látka	Průměrná doba setrvání v ovzduší	Koeficient odstraňování k_u [s^{-1}]
CO	2 roky	$1,59 \cdot 10^{-8}$
NO ₂	6 dní	$1,93 \cdot 10^{-6}$
SO ₂	6 dní	$1,93 \cdot 10^{-6}$
TZL	6 dní	$1,93 \cdot 10^{-6}$

8. VÝPOČET MAXIMÁLNÍCH KRÁTKODOBÝCH KONCENTRACÍ

8.1. Maximální krátkodobá koncentrace CO

Ukázkový výpočet maximální krátkodobé koncentrace CO je proveden pro referenční bod R1, třídu stability atmosféry I a 1. třídu rychlosti větru. Vypočítané hodnoty pro všechny existující kombinace tříd větru a stability jsou uvedeny v tabulce číslo 22.

$$c = \frac{10^6 \cdot M}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u_{h1} + V_s} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2 \cdot \sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(-k_u \frac{x}{u_{h1}}\right) \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - h_1)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) + \vartheta \cdot \exp\left(-\frac{(z''' - h_1)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) \right] \quad (8.1)$$

$$c = \frac{10^6 \cdot 0,04775}{2 \cdot \pi \cdot 65,2 \cdot 21,99 \cdot 3,61 + 7,82} \cdot \exp\left(\frac{-0}{2 \cdot 65,2^2}\right) \cdot \exp\left(-1,59 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1452}{3,61}\right) \cdot \left[\exp\left(-\frac{(0,5 - 98,3)^2}{2 \cdot 21,99^2}\right) + (1 - 0) \cdot \exp\left(-\frac{(2,5 + 98,3)^2}{2 \cdot 21,99^2}\right) + 0 \cdot \exp\left(-\frac{(-2,5 - 98,3)^2}{2 \cdot 21,99^2}\right) \right]$$

$$c = 1,15 \cdot 10^{-4} \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$$

Tab. 22: Hodnoty koncentrací CO [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]

R1	u_{10} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,000	0,009	0,053	0,142	0,143
2. třída	5,0	-	0,020	0,071	0,106	0,057	
3. třída	11,0	-	-	0,044	0,058	-	
R2	u_{10} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,000	0,000	0,001	0,021	0,213
	2. třída	5,0	-	0,000	0,008	0,051	0,113
	3. třída	11,0	-	-	0,007	0,036	-

R3	u ₁₀ [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,011	0,065	0,099	0,090	0,028
	2. třída	5,0	-	0,042	0,051	0,038	0,010
	3. třída	11,0	-	-	0,026	0,018	-
R4	u ₁₀ [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,000	0,001	0,016	0,083	0,144
	2. třída	5,0	-	0,011	0,029	0,075	0,059
	3. třída	11,0	-	-	0,020	0,043	-

8.2. Maximální krátkodobá koncentrace NO₂

Ukázkový výpočet maximální krátkodobé koncentrace NO₂ je proveden pro referenční bod R1, třídu stability atmosféry I a 1. třídu rychlosti větru. Vypočítané hodnoty pro všechny existující kombinace tříd větru a stability jsou uvedeny v tabulce číslo 23.

$$\begin{aligned}
 c = & \frac{10^6 \cdot M}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u_{h1} + V_s} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2 \cdot \sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(-k_u \frac{x}{u_{h1}}\right) \cdot \\
 & \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - h_1)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) + \vartheta \right. \\
 & \cdot \left. \exp\left(-\frac{(z''' - h_1)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) \right] \quad (8.1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c = & \frac{10^6 \cdot 2,48164}{2 \cdot \pi \cdot 65,2 \cdot 21,99 \cdot 3,61 + 7,82} \cdot \exp\left(\frac{-0}{2 \cdot 65,2^2}\right) \cdot \exp\left(-1,93 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1452}{3,61}\right) \cdot \\
 & \cdot \left[\exp\left(-\frac{(0,5 - 98,3)^2}{2 \cdot 21,99^2}\right) + (1 - 0) \cdot \exp\left(-\frac{(2,5 + 98,3)^2}{2 \cdot 21,99^2}\right) + 0 \cdot \right. \\
 & \cdot \left. \exp\left(-\frac{(-2,5 - 98,3)^2}{2 \cdot 21,99^2}\right) \right]
 \end{aligned}$$

$$c = 0,006 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$$

Tab. 23: Hodnoty koncentrací NO₂ [μg·m⁻³]

R1	u ₁₀ [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,006	0,490	2,737	7,375	7,453
	2. třída	5,0	-	1,040	3,670	5,517	2,985
	3. třída	11,0	-	-	2,304	3,008	-
R2	u ₁₀ [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,000	0,001	0,052	1,109	11,073
	2. třída	5,0	-	0,010	0,395	2,632	5,871
	3. třída	11,0	-	-	0,376	1,878	-
R3	u ₁₀ [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,548	3,387	5,141	4,681	1,478
	2. třída	5,0	-	2,196	2,676	1,972	0,528
	3. třída	11,0	-	-	1,348	0,946	-
R4	u ₁₀ [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,000	0,047	0,813	4,313	7,490
	2. třída	5,0	-	0,557	1,523	3,890	3,093
	3. třída	11,0	-	-	1,043	2,225	-

8.3. Maximální krátkodobá koncentrace SO₂

Ukázkový výpočet maximální krátkodobé koncentrace SO₂ je proveden pro referenční bod R1, třídu stability atmosféry I a 1. třídu rychlosti větru. Vypočítané hodnoty pro všechny existující kombinace tříd větru a stability jsou uvedeny v tabulce číslo 24.

$$\begin{aligned}
 c = & \frac{10^6 \cdot M}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u_{h1} + V_s} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2 \cdot \sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(-k_u \frac{x}{u_{h1}}\right) \cdot \\
 & \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - h_1)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) + \vartheta \right. \\
 & \left. \cdot \exp\left(-\frac{(z''' - h_1)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) \right]
 \end{aligned} \tag{8.1}$$

$$c = \frac{10^6 \cdot 27,39160}{2 \cdot \pi \cdot 65,2 \cdot 21,99 \cdot 3,61 + 7,82} \cdot \exp\left(\frac{-0}{2 \cdot 65,2^2}\right) \cdot \exp\left(-1,93 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1452}{3,61}\right) \cdot \left[\exp\left(-\frac{(0,5 - 98,3)^2}{2 \cdot 21,99^2}\right) + (1 - 0) \cdot \exp\left(-\frac{(2,5 + 98,3)^2}{2 \cdot 21,99^2}\right) + 0 \cdot \exp\left(-\frac{(-2,5 - 98,3)^2}{2 \cdot 21,99^2}\right) \right]$$

$$c = 0,066 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$$

Tab. 24: Hodnoty koncentrací SO_2 [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]

R1	u_{10} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,066	5,407	30,208	81,401	82,262
	2. třída	5,0	-	11,479	40,512	60,897	32,947
	3. třída	11,0	-	-	25,429	33,201	-
R2	u_{10} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,000	0,007	0,573	12,238	122,222
	2. třída	5,0	-	0,114	4,358	29,053	64,798
	3. třída	11,0	-	-	4,151	20,732	-
R3	u_{10} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	6,046	37,380	56,750	51,671	16,316
	2. třída	5,0	-	24,240	29,532	21,769	5,826
	3. třída	11,0	-	-	14,881	10,437	-
R4	u_{10} [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,000	0,522	8,974	47,604	82,668
	2. třída	5,0	-	6,153	16,814	42,932	34,143
	3. třída	11,0	-	-	11,517	24,564	-

8.4. Maximální krátkodobá koncentrace TZL

Do výpočtu koncentrace tuhých znečišťujících látek je třeba zahrnout pokles osy prašné vlečky h_{gi} [m] v důsledku pádové rychlosti prašných částic v_{gi} [m.s⁻¹]. Pro výpočet jsou použity následující vzorce:

$$v_{gi} = -\frac{3 \cdot \pi \cdot \nu}{2 \cdot C_3 \cdot d_i} + \sqrt{\left(\frac{3 \cdot \pi \cdot \nu}{2 \cdot C_3 \cdot d_i}\right)^2 + \frac{C_2 \cdot \rho_c \cdot g \cdot d_i}{C_3 \cdot \rho}} \quad (8.2)$$

Kde ν [m.s⁻¹] je kinematická viskozita vzduchu, d_i [m] je aerodynamický průměr prašné částice, C_2 je konstanta určující poměr mezi objemem částice a jejím charakteristickým rozměrem, C_3 je součinitel odporu tření, ρ_c [kg.m⁻³] je hustota prašných částic, je ρ [kg.m⁻³] hustota vzduchu a g [m.s⁻²] je tíhové zrychlení.

$$h_{gi} = \frac{x \cdot v_{gi}}{u_{h1}} \quad (8.3)$$

Ukázkový výpočet je pro referenční bod R1, třídu stability I a 1. třídu rychlosti větru. Hodnoty poklesu prašné osy vlečky jsou v tabulce číslo 25.

$$v_{gi} = -\frac{3 \cdot \pi \cdot 15 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,6 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} + \sqrt{\left(\frac{3 \cdot \pi \cdot 15 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,6 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}\right)^2 + \frac{0,8 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{0,6 \cdot 1,29}}$$

$$v_{gi} = 0,0043 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$h_{gi} = \frac{1452 \cdot 0,0043}{3,61} = 1,727 \text{ m}$$

Tab. 25: Hodnoty poklesu prašné osy vlečky h_{gi} [m]

R1	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	1,727	2,020	2,334	2,551	2,810
2. třída	5,0	-	0,724	0,835	0,908	0,991	
3. třída	11,0	-	-	0,386	0,419	-	
R2	u_{10} [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	1,019	1,193	1,373	1,498	1,648
	2. třída	5,0	-	0,423	0,488	0,530	0,578
	3. třída	11,0	-	-	0,225	0,244	-

R3	u ₁₀ [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	4,722	5,530	6,368	6,947	7,642
	2. třída	5,0	-	1,962	2,263	2,458	2,681
	3. třída	11,0	-	-	1,043	1,133	-
R4	u ₁₀ [m.s ⁻¹] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	1,663	1,947	2,242	2,446	2,691
	2. třída	5,0	-	0,691	0,797	0,865	0,944
	3. třída	11,0	-	-	0,367	0,399	-

Následuje ukázkový výpočet koncentrace TZL pro první referenční bod, třídu stability I a 1. třídu rychlosti větru. α_{pi} značí množství částic PM₁₀ v celém souboru TZL. Všechny dopočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce číslo 26.

$$c = \frac{10^6 \cdot M}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u_{h1} + V_s} \cdot \exp\left(\frac{-y_L^2}{2 \cdot \sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(-k_u \frac{x}{u_{h1}}\right) \cdot \sum_{i=1}^{r_c} \frac{\alpha_{pi}}{100} \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z' - (h_1 - h_{gi}))^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) + (1 - \vartheta) \cdot \exp\left(-\frac{(z'' + h_1 + h_{gi})^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) + \vartheta \cdot \exp\left(-\frac{(z''' - (h_1 + h_{gi}))^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) \right] \quad (8.4)$$

$$c = \frac{10^6 \cdot 0,4039}{2 \cdot \pi \cdot 65,2 \cdot 21,99 \cdot 3,61 + 7,82} \cdot \exp\left(\frac{-0}{2 \cdot 65,2^2}\right) \cdot \exp\left(-1,93 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1452}{3,61}\right) \cdot \sum_{i=1}^{r_c} \frac{85}{100} \cdot \left[\exp\left(-\frac{(0,5 - (98,30 - 1,727))^2}{2 \cdot 21,99^2}\right) + (1 - 0) \cdot \exp\left(-\frac{(2,5 + 98,30 + 1,727)^2}{2 \cdot 21,99^2}\right) + 0 \cdot \exp\left(-\frac{(-2,5 - (98,30 + 1,727))^2}{2 \cdot 21,99^2}\right) \right]$$

$$c = 0,001 \mu g \cdot m^{-3}$$

Tab. 26: Hodnoty koncentrací TZL [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]

R1	u_{10} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,001	0,085	0,428	1,080	1,040
	2. třída	5,0	-	0,173	0,556	0,795	0,415
	3. třída	11,0	-	-	0,346	0,432	-
R2	u_{10} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,000	0,013	0,094	0,491	1,836
	2. třída	5,0	-	0,082	0,358	0,817	0,919
	3. třída	11,0	-	-	0,281	0,528	-
R3	u_{10} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,160	0,630	0,810	0,681	0,205
	2. třída	5,0	-	0,388	0,409	0,283	0,073
	3. třída	11,0	-	-	0,204	0,135	-
R4	u_{10} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] \ třída stability		I	II	III	IV	V
	1. třída	1,7	0,014	0,181	0,517	1,117	1,127
	2. třída	5,0	-	0,377	0,646	0,836	0,453
	3. třída	11,0	-	-	0,394	0,454	-

8.5. Maximální koncentrace látek v referenčních bodech

Maximální hodinové koncentrace látek CO, NO₂, SO₂ a TZL jsou pro každý referenční bod zvlášť vypsány v tabulce číslo 27. Jsou tam uvedené i rychlosti větru a třídy stability, při kterých se maximální koncentrace vyskytla.

Dle legislativy je hodinový imisní limit pro NO₂ stanoven na 200 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, pro SO₂ je hodinový imisní limit 350 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ani jeden z těchto limitů nebyl překročen. Pro CO je imisní limit stanoven za denní 8hod. klouzavý průměr, nesmí překročit hodnotu 10 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Tuhé znečišťující látky mají imisní limit stanovený za dobu průměrování 24 hodin. Hodnota TZL nesmí přesáhnout 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tab. 27: Maximální koncentrace látek c_{max} [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] v referenčních bodech

Referenční bod	Znečišťující látka	c_{max} [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	Rychlost větru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	Stabilita atmosféry
R1	CO	0,143	1,7	V
	NO ₂	7,453	1,7	V
	SO ₂	82,262	1,7	V
	TZL	1,080	1,7	IV
R2	CO	0,213	1,7	V
	NO ₂	11,073	1,7	V
	SO ₂	122,222	1,7	V
	TZL	1,836	1,7	V
R3	CO	0,099	1,7	III
	NO ₂	5,141	1,7	III
	SO ₂	56,750	1,7	III
	TZL	0,810	1,7	III
R4	CO	0,144	1,7	V
	NO ₂	7,490	1,7	V
	SO ₂	82,668	1,7	V
	TZL	1,127	1,7	V

9. ZÁVĚR

První část práce se zabývá složením a členěním atmosféry, základními znečišťujícími látkami a jejich vlivem na člověka, legislativou v ochraně ovzduší a šířením znečišťujících látek.

Dále se práce zabývá celkovou situací znečištění ovzduší v České republice, kde je zhodnoceno znečištění z hlediska základních znečišťujících látek SO_2 , NO_x , a frakce PM_{10} suspendovaných částic. Největší koncentrace PM_{10} v ČR je v oblasti Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek, důvodem jsou významné průmyslové zdroje. V této aglomeraci je také zvýšená koncentrace látky SO_2 , která je problémová i pro oblast Podkrušnohorské pánve. Oxidy dusíku vznikají nejvíce při spalování paliv v motorových vozidlech, proto jsou touto látkou nejvíce postižena velká města s hustou dopravou. Významný vliv na denní koncentrace znečišťujících látek mají meteorologické a rozptylové podmínky.

Druhá část práce se zabývá výpočtem maximální koncentrace znečišťujících látek CO , NO_2 , SO_2 a TZL, které se dostávají do ovzduší z bodového zdroje, kterým jsou dva kotle na těžký topný olej sloužící jako záložní zdroj ve Výtopně Písek Samoty. Čtyři referenční body, ve kterých se počítala maximální hodinová koncentrace, byly zvoleny v místech, kde se pohybuje větší množství lidí (nemocnice, ZŠ, VOŠ, sídliště). Celý výpočet vychází z příručky SYMOS'97.

V žádném z referenčních bodů nebyly překročeny imisní limity. V referenčních bodech R2 a R4 byla dosažena nejvyšší koncentrace škodlivin při V třídě stability atmosféry a 1. třídě rychlosti větru ($1,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Referenční bod R1 na tom byl obdobně, pouze tuhé znečišťující látky dosáhly maximální koncentrace při IV třídě stability atmosféry. Pro nejvzdálenější bod R3 byla nejnepříznivější situace při 1. třídě rychlosti větru a III třídě stability atmosféry. Nejvyšších maximálních koncentrací všech čtyř kontrolovaných látek bylo dosaženo v referenčním bodě R2, který je zároveň ke zdroji nejbližší.

Situace je však zhodnocena pouze pro jeden zdroj, v okolí se nachází i další zdroje, které mohou koncentraci znečišťujících látek značně zvýšit. Situace navíc byla hodnocena pro provoz v době odstávky, kdy běží pouze záložní zdroje. Dá se předpokládat, že v zimním období při provozu hlavního zdroje spolu se záložním zdrojem při špičkových potřebách uživatelů může být imisní situace v blízkém okolí zdroje výrazně horší. Dle dostupných informací jsou u zdroje překračovány emisní limity a v blízké budoucnosti se uvažuje o plynofikaci, která by měla výrazně snížit množství emisí, zejména SO_2 a TZL.

10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Doc. Ing. Jiří Hemerka, CSc., Ing. Pavel Vybíral, Ph.D. Ochrana ovzduší, ČVUT v Praze, 2010
- [2] Nový, R. a kol.: Technika prostředí (skripta), Praha: ČVUT, 2000
- [3] Doc. Ing. Jiří Hemerka, CSc., Ing. Pavel Vybíral, Ph.D. Základy ochrany ovzduší, ČVUT v Praze, 2008
- [4] Kolektiv autorů. Kompendium ochrany kvality ovzduší. Editor Jiří Kurfürst. Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o., Chrudim, 2008
- [5] SYMOS'97: Systém modelování stacionárních zdrojů, Metodická příručka, ČHMÚ Praha, 1998
- [6] SYMOS'9, verze 02: Systém modelování stacionárních zdrojů, Metodická příručka - doplněk, ČHMÚ Praha, 2003
- [7] Portál Masarykovy univerzity, Klimatologie, Atmosféra. [8. 4. 2017]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/01-uvod.html
- [8] Portál integrovaného registru znečišťování, Informace o látkách ohlašovaných v IRZ. [15. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/20>
- [9] Portál zákonů pro lidi. [2. 6. 2017]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/>
- [10] Portál Českého hydrometeorologického ústavu, Grafická ročenka pro rok 2015. [3. 6. 2017]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/15groc/gr15cz/Obsah_CZ.html
- [11] Portál státního zdravotního ústavu, Základy meteorologie pro aplikaci při řešení problému rozptylu znečišťujících látek v ovzduší. [29. 5. 2017]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/konz_dny_a_seminare/2007/kurs_ovzdusi_1/5_keder_zaklady_meteorologie.pdf
- [12] Petr Minařík, Bakalářská práce Znečištění ovzduší a rozptyl emisí 2016
- [13] Ivana Kosová, Bakalářská práce STUDIE VLIVU KOTELNY NA IMISNÍ SITUACI 2013