



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

PREDIKCE BUDOUCÍHO STAVU OVZDUŠÍ

PREDICTION OF FUTURE AIR QUALITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Roháček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vratislav Čmiel, Ph.D.

BRNO 2024

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Student: Adam Roháček

ID: 227221

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Predikce budoucího stavu ovzduší

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Proveďte rešerši v oblasti monitorování a hodnocení kvality ovzduší. Seznamte se s měřenými polutanty, s mírou jejich výskytu v různých oblastech a situacích. 2) Zaměřte se také na různorodé faktory týkající se životního prostředí, počasí nebo průmyslové činnosti ovlivňující míru polutantů v ovzduší. 3) Zabývejte se uplatněním predikčních algoritmů v oblasti analýzy kvality ovzduší. 4) Navrhněte výpočetní postupy v jazyce Python pro predikci kvality ovzduší a množství polutantů v prostředí. Uplatněte i vliv faktorů ovlivňujících predikci, a to např. vliv počasí, na úspěšnost predikce. 5) Uplatněte navržené algoritmy na vhodných datech získaných z dostupných databází. 6) Proveďte ověření úspěšnosti a určete, které další faktory a v jaké míře mohou predikci kladně ovlivnit. 7) Proveďte diskusi nad získanými výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Schindler, Anthony: Air Quality: Measurement, Analysis and Monitoring Techniques. Syrawood Publishing House (2019). 210 pages. ISBN-10: 1682867315

[2] John E. Yocom, Sharon M. McCarthy: Measuring Indoor Air Quality: A Practical Guide. Wiley (1991). 240 p. ISBN-10: 0471907286

Termín zadání: 5.2.2024

Termín odevzdání: 29.5.2024

Vedoucí práce: Ing. Vratislav Čmiel, Ph.D.

doc. Ing. Jana Kolářová, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá předpovědí budoucí kvality vzduchu, která je klíčovým prvkem environmentálního zdraví a udržitelného rozvoje. S rostoucími obavami ohledně znečištění vzduchu a jeho škodlivých účinků na lidské zdraví a životní prostředí roste potřeba přesných technik pro předvídání a minimalizaci potenciálních problémů spojených s kvalitou ovzduší. V práci se nastíní problematika znečištění ovzduší, popíše se uplatnění predikčních algoritmů a zhodnotí se kvalita vlastního navrženého algoritmu.

KLÍČOVÁ SLOVA

znečištění, kvalita ovzduší, predikce, veřejné zdraví, algoritmus, polutanty, počasí, předpověď

ABSTRACT

This thesis explores the prediction of future air quality as a critical aspect of environmental health and sustainable development. With the increasing concerns over air pollution and its detrimental effects on human health and the environment, there is a growing need for accurate forecasting techniques to anticipate and mitigate potential air quality issues. This thesis introduces the reader to the topic of air pollution, describes the usage of prediction algorithms and evaluates quality of the own algorithm.

KEYWORDS

pollution, air quality, prediction, public health, algorithm, pollutants, weather, forecast

ROHÁČEK, Adam. *Predikce budoucího stavu ovzduší*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství, 2024, 33 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Vratislav Čmiel, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Adam Roháček
VUT ID autora: 227221
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2023/24
Téma závěrečné práce: Predikce budoucího stavu ovzduší

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

Obsah

Úvod	8
1 Atmosféra	9
1.1 Vznik atmosféry	9
1.2 Složení atmosféry	10
1.3 Vertikální členění atmosféry	12
2 Kvalita ovzduší	15
2.1 Monitorování kvality ovzduší	15
2.2 Používané senzory	18
2.3 Hodnocení kvality ovzduší	19
3 Polutanty	21
3.1 Faktory ovlivňující koncentrace polutantů	23
4 Negativní dopady znečištění ovzduší	25
4.1 Zdravotní dopady	25
4.2 Dopady na životní prostředí	27
5 Predikční algoritmy	28
5.1 Uplatnění v oblasti analýzy kvality ovzduší	29
Závěr	31
Literatura	32

Seznam obrázků

1.1	Chemické složení suchého čistého vzduchu	10
1.2	Členění atmosféry podle různých hledisek	13
2.1	Úrovně znečištění ovzduší podle AQI a zdravotní riziko každé úrovně	16

Úvod

Kvalita vzduchu je klíčovou součástí environmentálního zdraví, která přímo ovlivňuje lidský blahobyt a integritu ekosystémů. S rychlým nárůstem urbanizace, industrializace, a rozšiřováním dopravních sítí globálně, se problém znečištění vzduchu stává stále naléhavějším. Špatná kvalita vzduchu je spojena s celou řadou nepříznivých účinků na zdravý, od respiračních onemocnění po kardiovaskulární choroby a dokonce i předčasnou úmrtnost. Navíc významně přispívá k environmentální degradaci, včetně kyselých dešťů, tvorby smogu a změny klimatu.

Když vstupujeme do éry charakterizované technologickým pokrokem a zvýšenou uvědomělostí o důležitosti kvality životního prostředí, je stále naléhavější předpovídat a minimalizovat budoucí výzvy v oblasti kvality vzduchu. Porozumění složitému vzájemnému působení meteorologických podmínek, antropogenních aktivit a přírodních jevů je klíčové pro vypracování efektivních strategií k ochraně veřejného zdraví a ochraně životního prostředí.

Tato bakalářská práce si klade za cíl proniknout do oblasti prediktivního modelování pro předpověď budoucích úrovní kvality vzduchu. Využitím pokročilých výpočetních technik a analýzou historických dat se snažíme rozpoznat vzory a trendy, které mohou informovat o preventivních intervencích a rozhodnutích politiků. Tímto výzkumným úsilím se snažíme přispět k společné snaze o dosažení čistějšího a zdravějšího ovzduší pro současné i budoucí generace.

V následujících kapitolách se budeme zabývat existující literaturou o metodách předpovídání kvality vzduchu, objasníme zdroje dat a proměnné použité v naší analýze, podíváme se na výpočetní techniky použité pro modelování a představíme výsledky našich prediktivních experimentů. Nakonec se budeme snažit poskytnout náhledy a doporučení, které mohou posílit zájmy zúčastněných stran při minimalizaci škodlivých účinků znečištění vzduchu a podpořit udržitelný rozvoj.

1 Atmosféra

V první kapitole se podíváme na plynný obal země, tedy na atmosféru. Projdeme si její složení, vznik, dělení a s těmito základními znalostmi se dále ponoříme hlouběji do problematiky kvality ovzduší.

Termín atmosféra vznikl složením řeckých slov "atmos"(pára) a "sphaira"(obal). Hmotnost zemské atmosféry ($5,157 \cdot 10^{18}$ kg) nedosahuje ani jedné miliontiny hmotnosti planety Země. Je tvořena plynným obalem skládajícím se ze směsi plynů, které mezi sebou chemicky nereagují. S ohledem na pokles hustoty a tlaku vzduchu s výškou je 50 % hmotnosti atmosféry soustředěno do výšky 6 km, 75 % do 11 km a 90 % do 20 km. Do výšky 50–80 km se díky turbulentním pohybům vzduchu výrazně nemění chemické složení atmosféry. Nad touto hranicí dochází působením krátkovlnného slunečního záření disociací a ionizací molekul a atomů k rozkladu kyslíku a dusíku. V horních vrstvách atmosféry pak převažují jen lehké plyny (helium, vodík), které mají tendenci neustále disipovat do meziplanetárního prostoru.[13][14]

Existuje několik důvodů, proč se věnovat biogeochemii s ohledem na atmosféru. Složení atmosféry se vyvíjelo v důsledku historie života na Zemi a nyní se rychle mění v důsledku lidské činnosti. Atmosféra řídí zemské klima a v konečném důsledku určuje podmínky, ve kterých žijeme – naše zásoby jídla a vody, naše zdraví a naši ekonomiku. Atmosféra je navíc poměrně dobře promíchaná, takže změny v jejím složení lze brát jako první index změn v biogeochemických procesech na globální úrovni. Cirkulace atmosféry přenáší biogeochemické složky mezi oceány a pevninou, což přispívá ke globálním cyklům chemických prvků.[14]

1.1 Vznik atmosféry

Prvotní atmosféra vznikla před 4,0 až 3,8 miliardami let. V atmosféře byla absence těžších molekul. Byla tvořena převážně vodíkem a héliem, které ve velkém množství unikali do kosmického prostoru.[15]

Sekundární atmosféra vznikala v průběhu chladnutí zemské kůry, kdy se uvolňovaly emise (oxid uhličitý, metan, amoniak, voda, vyšší organické sloučeniny a malé množství volného dusíku) z vulkanické činnosti a z povrchu země. Postupně začalo docházet i ke kondenzaci vody a vznikaly první vodní plochy a toky. V důsledku absorpce oxidu uhličitého ve vodě se snížila jeho koncentrace ve vzduchu a tím se i zmenšil skleníkový efekt. Značné množství kyslíku vznikalo jako vedlejší produkt metabolismu prvních organismů.[14][15]

1.2 Složení atmosféry

Hlavními plynnými složkami atmosféry jsou v suchém čistém vzduchu dusík, kyslík a argon, dále pak stopové prvky oxidu uhličitého, ozonu, metanu a dalších prvků (1.1). Tři plyny – dusík, kyslík a argon – tvoří 99 % atmosférické hmoty.[14][13]

Plyn	Chemická zn.	Objemová %
dusík	N ₂	78,084
kyslík	O ₂	20,9476
argon	Ar	0,934
oxid uhličité	CO ₂	0,0314
neon	Ne	0,001818
helium	He	0,000524
metan	CH ₄	0,0002
krypton	Kr	0,000114
vodík	H ₂	0,00005
oxid dusný	N ₂ O	0,00005
xenon	Xe	0,0000087
oxid siřičitý	SO ₂	0–0,0001
ozon	O ₃	0–0,000003

Obr. 1.1: Chemické složení suchého čistého vzduchu

Dusík je vysoce inertní plyn (s jinými prvky reaguje jen za vysokých teplot a tlaků), který se do atmosféry dostává především vulkanickou činností. Reaktivní dusík se nachází pouze v sloučeninách, např. amoniak a oxid dusný. Ve vzduchu je zaujímá největší objemový podíl (78 %) a téměř se nepodílí na pohlcování energie a látkových změnách v atmosféře.[13][14]

Kyslík je reaktivní plyn nezbytný pro život na Zemi. Má významný účinek při pohlcování slunečního záření, kdy dochází k disociaci molekul kyslíku na jednotlivé atomy, které mohou reakcí s O² dávat vznik molekule ozonu O³. Živé organismy ho spotřebovávají dýcháním, zpátky se do atmosféry dostává jako vedlejší produkt fotosyntetické činnosti organismů. Stručně řečeno, navzdory potenciální reaktivitě O² je jeho rychlost reakce s redukovanými sloučeninami poměrně pomalá a O² je stabilní složkou atmosféry. Koncentrace kyslíku se za posledních 800 000 let snížila pouze o 0,7 %.[13][14]

Argon je stejně jako dusík inertní plyn a do atmosféry se dostává rozpadem radioaktivního izotopu K⁴⁰. [13]

Ze stopových plynů má výrazné zastoupení **oxid uhličitý**. Přirozenou cestou se do ovzduší dostává při vulkanické činnosti, požárech, dýchání organismů atd. Velký význam má ovšem antropogenní činnost, které zejména spalováním fosilních paliv dotuje atmosféru o CO_2 , který byl biologickými procesy fixován v odumřelých organismech (uhlí, ropa). I tak je hlavním zásobníkem oxidu uhličitého oceán, kde je vázán ve formě H_2CO_3 . Pro zelené rostliny má CO_2 nezastupitelný význam. Vlivem slunečního záření se rozkládá na uhlík, který je dále využit k tvorbě organických látek. Rovnováha výměny CO_2 mezi oceánem a atmosférou závisí na teplotě vody a biologických dějích v moři a na zemském povrchu. Protože se oxid uhličitý podílí na pohlcování a vyzařování dlouhovlnného tepelného záření, má klimatický význam. V této souvislosti se velmi často mluví o skleníkovém efektu. Ten má na planetu Zemi jak pozitivní, tak negativní účinek. Díky jeho existenci je průměrná teplota planety kolem 15°C . Bez skleníkového efektu by byla průměrná teplota atmosféry -18°C . Negativní účinek se naopak promítá do oteplování atmosféry, které s sebou nese množství souvisejících dopadů (tání ledovců, oteplování oceánu atd.), které v rámci úplného klimatického systému vyvolávají celou řadu nežádoucích změn.[13][14]

Ozon, ač ve stopovém množství, představuje pro život organismů nezbytnou součást atmosféry. Jde o trojatomární sloučeninu kyslíku, která vzniká disociačním účinkem ultrafialového záření na molekuly kyslíku. Okolo 90 % ozonu se nachází ve stratosféře ve výšce 20–30 km (ozonosféra), kde vytváří ozonovou vrstvu. Část tohoto ozonu je transportována na zemský povrch smícháním stratosférického a troposférického vzduchu. Význam stratosférického ozonu spočívá v účinné ochraně organismů před účinky ultrafialového záření. Takový pozitivní význam má ovšem pouze stratosférický ozon. Vedle něj vzniká antropogenní činností (uvolněné oxidy dusíku a uhlovodíky) také troposférický ozon, který má negativní účinky zejména na dýchací ústrojí člověka.[13][14]

Mimo výše uvedené plyny je součástí vzduchu také vodní pára, které je přisuzován největší klimatický význam. Její obsah je podle vlhkosti vzduchu různorodý. V nejvlhčích oblastech však obsah vodní páry nepřevyšuje 4 % objemu vzduchu. V mírném podnebném pásu obsahuje vzduch v létě asi 1,3 % vodní páry a v zimě 0,4 %. Zvýšení obsahu vodní páry ve vzduchu má za následek snížení obsahu dalších složek. Mimo jiné intenzivně pohlcuje dlouhovlnné záření.[13]

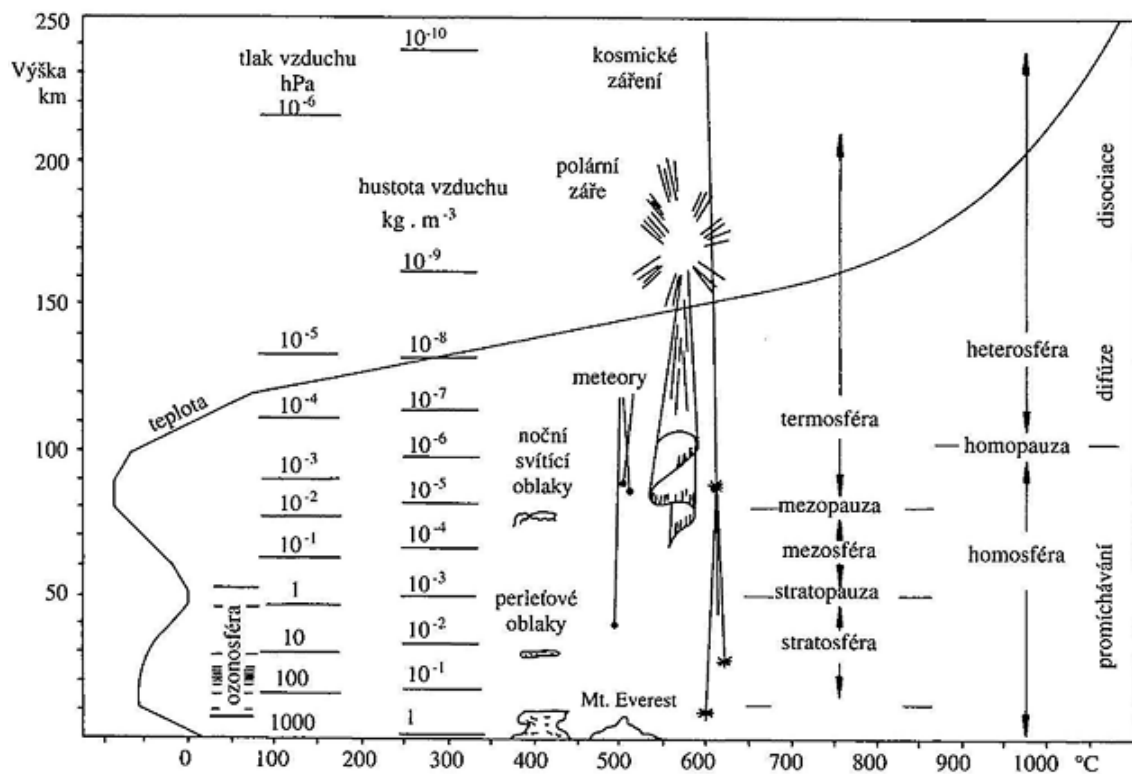
Součástí atmosféry jsou také pevné a kapalné částice označované jako atmosférické aerosoly. Podle původu mohou být přírodní nebo antropogenní.[13]

1.3 Vertikální členění atmosféry

Podle fyzikálně chemických vlastností lze atmosféru rozdělit na několik vrstev (1.2). K tomu slouží následující hlediska: změna teploty vzduchu s výškou, stálost chemického složení, fyzikálně chemické procesy a interakce aktivního povrchu a atmosféry.

Podle změny teploty vzduchu s výškou se rozlišují troposféra, stratosféra, mezosféra, termosféra a exosféra:[13]

- **Troposféra** je nejnižší vrstva atmosféry přiléhající k zemskému povrchu. V okolí rovníku sahá její horní hranice do výšky až 18 km. V mírném pásu je 75 % atmosféry soustředěno do troposféry a v okolí rovníku je to až 90 %. Přechod troposféry do stratosféry není ostrý, ale postupný prostřednictvím tropopauzy. Teplota vzduchu klesá v troposféře se vzrůstající nadmořskou výškou podle tzv. vertikálního teplotního gradientu, který činí v průměru 0,65 °C na 100 m. V závislosti na zeměpisné šířce dosahuje horní hranice troposféry různých teplot, od -50 °C do -80 °C. Je zároveň oblastí intenzivního proudění vzduchu (turbulence a konvekce) a nachází se zde většina vodních par, proto se zde formuje aktuální stav klimatického systému, počasí.[14][13]
Pro tuhle práci bude vymezuující právě oblast troposféry.
- **Stratosféra** sahá do výšky 50–55 km. V její spodní části se teplota téměř nemění a je přibližně -60 °C. Od výšky kolem 25 km začíná teplota postupně stoupat, přičemž ve výšce okolo 50 km se dostává na hodnotu kolem 0 °C. Důvodem nárůstu teploty je pohlcování ultrafialového záření ozonem v rámci tzv. ozonosféry, zejména rozvolňování vazeb mezi molekulami kyslíku. Od další vrstvy, mezosféry, je stratosféra oddělená stratopauzou.[14][13]
- Horní hranice **mezosféry** sahá do výšky 80–85 km. Od stratopauzy teplota postupně klesá a na horní hranici dosahuje v létě -80 až -90 °C, v zimě -40 až -50 °C. V mezosféře lze také pozorovat meteory s větší jasností než Venuše, tzv. bolidy.[13]
- **Termosféra** sahá od mezopauzy až do výšky 500 km, nebo podle jiných autorů až do oblastí výskytu polárních září (600–700 km). Příznačný je prudký nárůst teploty vzduchu, kdy v horních částech dosahuje teplota hodnot okolo 1 500 °C. Tyto vysoké teploty jsou způsobeny velkou kinetickou energií molekul vzduchu unikajících ze zemské atmosféry. Termopauzou přechází termosféra do exosféry.[13]
- V **exosféře**, ve výškách nad 800 km dosahují jednotlivé atomy tak velkých rychlostí, že překonávají gravitační sílu a unikají do meziplanetárního prostoru. Jde především o atomy vodíku a helia. Vnější hranice zemské atmosféry je kladena do vzdálenosti 20 000–40 000 km a mluví se o tzv. zemské koróně.[13]



Obr. 1.2: Členění atmosféry podle různých hledisek

Podle stálosti chemického složení atmosféry lze rozlišit homosféru a heterosféru:[13]

- **Homosféra** zahrnuje zemskou atmosféru přibližně do výšky okolo 90 km. Působením turbulentního promíchávání vzduchu se v ní v podstatě nemění chemické složení vzduchu. Obsažené látky se intenzivně podílejí na energetické bilanci Země. Od heterosféry je oddělena homopauzou.
- **Heterosféra** se rozprostírá nad homosférou a ustává zde turbulentní výměna vzduchu, proto se zde neudržuje stále složení vzduchu jako v homosféře. Podle molekulární hmotnosti jednotlivých plynů se začíná více projevovat difúzní rovnováha, proto ve větších výškách několika tisíc kilometrů převažuje atomární vodík a helium. Současně se zde také uplatňuje elektromagnetické záření, které způsobuje fotoionizaci a fotodisociaci.

Podle fyzikálně chemických procesů můžeme rozlišit neutrosféru, chemosféru a ionosféru: [13]

- **Neutrosféra** je část atmosféry zahrnující troposféru, stratosféru a větší část mezosféry, tedy sahající do výšky kolem 60–70 km. Je zde malá koncentrace iontů, proto zde nedochází k odrazu radiových vln.
- **Chemosféra** představuje část stratosféry, mezosféru a dolní termosféru, tedy

vrstvu, kde za přítomnosti slunečního záření probíhají fotochemické reakce převážně molekul kyslíku, ozonu a dusíku.

- V **ionosféře** ultrafialové a korpukulární záření odštěpuje elektrony od neutrálních atomů a molekul vzduchu, které tak získávají kladná náboj. Volné elektrony se mohou připojit k jiným atomům a molekulám vzduchu a ty pak získávají záporný náboj. Vysoká koncentrace těchto iontů a volných elektronů způsobuje, že se plyny stávají elektricky vodivými. Obzvláště vysoká je koncentrace iontů v zónách D (60–80 km), E (100–120 km), F₁ (180–200 km) a F₂ (300–400 km), které mají vliv na šíření radiových vln.

V závislosti na interakci aktivního povrchu a atmosféry se atmosféra dělí na planetární mezní vrstvu a volnou atmosféru:[13]

- **Planetární mezní vrstva** sahá do výšky 1–2 km a projevuje se zde turbulentní proudění vzduchu. Největší vliv má aktivní povrch v místech troposféry, která k němu bezprostředně přiléhá. V případě výskytu aerodynamicky hladkých povrchů (vodní hladina, sněhová pokrývka) proudí vzduch laminárně. V této vrstvě je dobře vyjádřen denní chod meteorologických prvků.
- **Volná atmosféra** se rozkládá nad planetární mezní vrstvou. Fyzikální děje zde nejsou ovlivňovány aktivním povrchem a turbulentní tření tak lze zanedbat.

2 Kvalita ovzduší

V obecné rovině se kvalita ovzduší odkazuje na stav vzduchu v konkrétním prostředí, obvykle měřený přítomností a koncentrací různých polutantů a kontaminantů. Zahrnuje jak přírodní, tak lidské faktory, které ovlivňují čistotu a zdravotní bezrizikovost vzduchu, který dýcháme. Kvalita vzduchu je koncept ovlivněný mnoha faktory jako jsou emise z průmyslových zařízení, spalování fosilních paliv, výfukové plyny z vozidel, zemědělské aktivity a další. Mezi přírodní jevy patří např. prachové bouře, lesní požáry a sopečné erupce, dále také meteorologické podmínky jako teplota, vlhkost a proudění vzduchu.[1]

Vysoká kvalita ovzduší je charakterizována nízkými koncentracemi polutantů, které se pohybují v mezích stanovených regulačními orgány pro ochranu lidského zdraví a životního prostředí. Naopak, špatná kvalita vzduchu je charakterizována zvýšenými hladinami polutantů, které mohou představovat významné riziko pro lidské zdraví, ekosystémy a celkovou kvalitu života.

Klíčové ukazatele používané k hodnocení kvality vzduchu zahrnují koncentraci polutantů, jako jsou prachové částice, oxid dusný, oxid siřičitý, oxid uhelnatý, ozón, těkavé organické sloučeniny a těžké kovy. Monitorování a analýza těchto polutantů nám pomáhají identifikovat zdroje znečištění, posoudit potenciální zdravotní rizika a vyvinout strategie pro zlepšení kvality ovzduší.

Celkově je kvalita ovzduší klíčovým environmentálním faktorem, který přímo ovlivňuje veřejné zdraví, zdraví ekosystémů a udržitelnost lidských aktivit. Udržování a zlepšování kvality ovzduší je zásadní pro zajištění zdravého a udržitelného životního prostředí pro současné i budoucí generace.

2.1 Monitorování kvality ovzduší

Monitorování kvality ovzduší je kritickým procesem pro hodnocení koncentrace polutantů v atmosféře. Poskytuje základní údaje pro pochopení úrovně znečištění ovzduší, identifikaci zdrojů znečištění a vytváření opatření na ochranu veřejného zdraví a životního prostředí.

Mezi nejčastější polutanty spojené s dopady na lidské zdraví a životní prostředí patří prachové částice (PM₁₀ a PM_{2.5}), přízemní ozon, oxid dusičitý, oxid siřičitý, oxid uhelnatý a VOCs (Volatile Organic Compounds). Blíže si tyto polutanty rozebereme v kapitole věnované přímo jim. Čím vyšší je hustota znečišťujících látek ve vzduchu, tím vyšší je index kvality vzduchu (AQI), což je stupnice od nuly do 500. Hodnota AQI 50 nebo nižší je považována za bezpečnou, zatímco hodnoty nad 100 jsou považovány za nezdravé, viz 2.1.

Air Quality Index		
AQI Category and Color	Index Value	Description of Air Quality
Good Green	0 to 50	Air quality is satisfactory, and air pollution poses little or no risk.
Moderate Yellow	51 to 100	Air quality is acceptable. However, there may be a risk for some people, particularly those who are unusually sensitive to air pollution.
Unhealthy for Sensitive Groups Orange	101 to 150	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is less likely to be affected.
Unhealthy Red	151 to 200	Some members of the general public may experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects.
Very Unhealthy Purple	201 to 300	Health alert: The risk of health effects is increased for everyone.
Hazardous Maroon	301 and higher	Health warning of emergency conditions: everyone is more likely to be affected.

Obr. 2.1: Úrovně znečištění ovzduší podle AQI a zdravotní riziko každé úrovně

Monitorování kvality ovzduší využívá různé technologie a metody, z nichž každá je vhodná pro různé polutanty a cíle monitorování:

1. **Stanice pro monitorování zemského ovzduší:** Jedná se o stacionární zařízení vybavená přístroji pro měření polutantů v ovzduší, jako jsou poléťavý prach, oxid dusný, oxid siřičitý, oxid uhelnatý, ozon a těkavé organické sloučeniny. Tyto stanice jsou strategicky umístěny ve městských, průmyslových a venkovských oblastech, aby zachycovaly různé typy znečištění.
2. **Satelitní monitorování:** Satelity vybavené dálkovými senzory poskytují širší perspektivu tím, že monitorují kvalitu ovzduší na regionální nebo globální úrovni. Dokážou měřit různé znečišťující látky a sledovat jejich pohyb v rozsáhlých geografických oblastech. Satelitní data doplňují pozemní měření a pomáhají identifikovat zdroje znečištění a vzory přenosu.

3. **Mobilní monitorování:** Mobilní monitorovací jednotky, namontované na vozidlech nebo bezpilotních letadlech, se používají k posouzení kvality ovzduší v konkrétních oblastech nebo podél dopravních tras. Tyto jednotky mohou zachytávat data v reálném čase a poskytovat informace o místech s vysokou mírou znečištění nebo oblastech s kolísajícími úrovněmi znečištění.
4. **Nízkonákladové senzory:** Díky pokroku v sensorové technologii se nízkonákladové senzory kvality ovzduší stávají stále populárnějšími pro osobní nebo komunitní monitorování. Tyto senzory, často integrované do přenosných zařízení nebo aplikací pro chytré telefony, poskytují uživatelům informace o kvalitě ovzduší v reálném čase a umožňují komunitám sledovat úrovně znečištění v jejich okolí.
5. **Modelování a simulace:** Modelování kvality ovzduší kombinuje data z monitorovacích stanic, satelitních pozorování, meteorologických parametrů a dat o emisích k simulaci koncentrací polutantů a jejich vzorů rozptýlení. Tyto modely pomáhají předpovídat budoucí podmínky kvality ovzduší, posuzovat účinnost opatření k omezení znečištění a podporovat rozhodování v politice.
6. **Sběr dat od veřejnosti a Citizen Science:** Iniciativy Citizen Science zapojují veřejnost do monitorování kvality ovzduší tím, že podporují jednotlivce, aby sbírali data pomocí osobních senzorů nebo se účastnili kampaní na sběr dat. Sběr dat od veřejnosti přispívá k širšímu pochopení vzorců kvality ovzduší a může doplňovat oficiální monitorovací způsoby.
7. **Indexy kvality ovzduší (AQI):** Indexy kvality ovzduší poskytují standardizovaný způsob prezentování informací o kvalitě ovzduší veřejnosti. Kombinují data z monitorovacích stanic do jediného číselného hodnoty nebo barevně kódovaného stupně, který označuje celkovou kvalitu ovzduší a související zdravotní rizika.

Každá z těchto metod monitorování má své výhody a omezení a často se používá kombinace přístupů k poskytnutí komplexních hodnocení kvality ovzduší. Využitím více monitorovacích technik a integrací dat z různých zdrojů mohou výzkumníci a politici lépe porozumět dynamice znečištění ovzduší a vyvíjet účinné strategie pro zlepšení kvality ovzduší a ochranu veřejného zdraví.

2.2 Používané senzory

Senzory kvality ovzduší hrají klíčovou roli při monitorování koncentrace různých znečišťujících látek v atmosféře. Tyto senzory využívají různé technologie a metody k detekci a kvantifikaci konkrétních znečišťujících látek. Níže jsou uvedeny některé běžné typy senzorů kvality ovzduší:

1. Senzory částic (PM)

- Princip: Senzory PM využívají optické, elektrické nebo gravimetrické metody k měření koncentrace částic suspendovaných v ovzduší.
- Typy: Optické rozptylové senzory, monitory beta absorpce a mikrováhové senzory jsou běžně používané pro měření PM.
- Měření: Senzory PM obvykle měří PM_{10} (částice s průměrem 10 mikrometrů nebo méně) a $PM_{2,5}$ (částice s průměrem 2,5 mikrometrů nebo méně), které jsou spojeny s respiračními a kardiovaskulárními zdravotními riziky.

2. Plynové senzory:

- Princip: Plynové senzory detekují konkrétní plyny měřením změn elektrické vodivosti, elektrochemických reakcí nebo optických absorpčních vlastností.
- Typy: Elektrochemické senzory, metal oxide semiconductor (MOS) senzory a infračervené (IR) senzory jsou běžně používané k detekci plynů.
- Měření: Plynové senzory mohou měřit různé znečišťující látky, jako jsou oxid dusný (NO_2), oxid siřičitý (SO_2), oxid uhelnatý (CO), ozon (O_3), těkavé organické sloučeniny (VOCs) a sírovodík (H_2S) a další.

3. Senzory ozonu (O_3):

- Princip: Senzory ozonu obvykle využívají elektrochemické reakce k detekci molekul ozonu v ovzduší.
- Typy: Elektrochemické senzory ozonu jsou nejběžnějším typem používaným k monitorování ovzduší.
- Měření: Senzory ozonu měří koncentraci ozonu, který je klíčovou složkou fotochemického smogu a může způsobit respirační podráždění a další zdravotní problémy.

4. Senzory oxidu uhličitého (CO_2):

- Princip: Senzory CO_2 měří koncentraci oxidu uhličitého pomocí technik infračervené absorpce.
- Typy: Senzory nefotonově disperzního infračerveného záření (NDIR) jsou široce používané pro měření CO_2 kvůli jejich vysoké přesnosti a spolehlivosti.
- Měření: Senzory CO_2 jsou důležité pro monitorování kvality ovzduší v interiérech a řízení ventilace, protože zvýšené úrovně CO_2 mohou nazna-

čovat nedostatečnou ventilaci a potenciální zdravotní rizika.

5. Sensory těkavých organických sloučenin (VOC):

- Princip: Sensory VOC detekují organické sloučeniny pomocí technik jako je fotoionizace, polovodičová oxidace kovu (MOS) nebo elektrochemické detekce.
- Typy: Detektory fotoionizace (PID), senzory MOS a senzory plynové chromatografie jsou běžně používané pro měření VOC.
- Měření: Sensory VOC monitorují přítomnost organických sloučenin emitovaných z různých zdrojů, jako jsou výfukové plyny vozidel, průmyslová emise a zemědělská činnost, které mohou přispívat k znečištění ovzduší a zdravotním problémům.

6. Meteorologické senzory:

- Princip: Meteorologické senzory měří atmosférické parametry, jako je teplota, vlhkost, rychlost větru a směr větru, které ovlivňují dynamiku kvality ovzduší.
- Typy: Teploměry, hygrometry, anemometry a větrné šipky jsou příklady meteorologických senzorů používaných k monitorování kvality ovzduší.
- Měření: Meteorologické senzory poskytují data o povětrnostních podmínkách, které ovlivňují rozptyl znečišťujících látek, chemické reakce a tvorbu sekundárních znečišťujících látek, jako je ozon a částicový materiál.

Integrací dat z těchto senzorů mohou systémy monitorování kvality ovzduší poskytnout cenné informace o úrovních znečištění, zdrojích znečištění a potenciálních dopadech na zdraví. Trvalé pokroky v technologii senzorů a metodách analýzy dat přispívají k zlepšení přesnosti, spolehlivosti a dostupnosti dat o kvalitě ovzduší, což nakonec podporuje snahu o snížení znečištění ovzduší a ochranu veřejného zdraví.[10]

2.3 Hodnocení kvality ovzduší

Hodnocení kvality ovzduší zahrnuje analýzu dat, která jsou shromážděna z různých zdrojů monitorování, aby se vyhodnotila koncentrace znečišťujících látek v atmosféře a určil jejich vliv na lidské zdraví a životní prostředí. Proces hodnocení kvality ovzduší obvykle zahrnuje následující kroky:[6]

1. **Sběr dat:** Stanice pro monitorování kvality ovzduší, satelitní pozorování, mobilní jednotky a nízkonákladové senzory neustále sbírají data o koncentracích polutantů, meteorologických parametrech a dalších relevantních proměnných. Tyto zdroje dat poskytují komplexní informace o dynamice kvality ovzduší v čase a prostoru.
2. **Validace dat a zajištění kvality:** Před jakoukoliv analýzou je důležité zajistit přesnost, spolehlivost a konzistenci shromážděných dat. Opatření k za-

jištění kvality, jako jsou kontrolní kalibrace, údržba zařízení a postupy pro ověření dat, pomáhají identifikovat a opravit jakékoliv chyby nebo anomálie v datech.

3. **Analýza koncentrace polutantů:** Hlavním cílem hodnocení kvality ovzduší je analyzovat koncentraci polutantů v ovzduší. Data z monitorovacích stanic a dalších zdrojů jsou zpracována a analyzována k výpočtu koncentrací znečišťujících látek, identifikaci míst s vysokou mírou znečištění a hodnocení v souladu s normami a předpisy týkajícími se kvality ovzduší.
4. **Výpočet indexu kvality ovzduší (AQI):** Vypočtené koncentrace znečišťujících látek jsou často používány k výpočtu Indexu kvality ovzduší (AQI), standardizovaného měřítka, které poskytuje informace o celkové kvalitě ovzduší a souvisejících zdravotních rizicích. AQI kategorizuje kvalitu ovzduší do různých úrovní (např. dobrá, střední, nezdravá) a komunikuje potenciální zdravotní účinky expozice zvýšeným hladinám polutantů.
5. **Identifikace zdrojů znečištění:** Analýza dat o kvalitě ovzduší může pomoci identifikovat zdroje a původ znečištění, jako jsou průmyslové emise, výfukové plyny, spalování biomasy nebo přírodní zdroje. Techniky určování zdrojů, včetně chemického otisku a modelování receptoru, jsou používány k rozlišení mezi různými zdroji znečištění a prioritizaci kontrolních opatření.
6. **Hodnocení zdravotních dopadů:** Hodnocení kvality ovzduší zohledňuje potenciální zdravotní dopady expozice polutantům. Epidemiologické studie a modely hodnocení rizik jsou používány k odhadu skutečných zdravotních rizik krátkodobé a dlouhodobé expozice polutantům, včetně respiračních a kardiovaskulárních onemocnění, rakoviny a dalších.
7. **Analýza trendů a předpovídání:** Dlouhodobá analýza dat o kvalitě ovzduší umožňuje identifikaci trendů a vzorců v koncentracích polutantů v čase. Analýza trendů pomáhá hodnotit účinnost opatření k omezení znečištění a předpovídat budoucí podmínky kvality ovzduší pomocí modelování a předpovídání.
8. **Komunikace výsledků:** Výsledky hodnocení kvality ovzduší jsou komunikovány politikům, zainteresovaným stranám a veřejnosti prostřednictvím zpráv, dashboardů, webových stránek a dalších komunikačních kanálů. Klarifikace a transparentní komunikace informací o kvalitě ovzduší pomáhá zvyšovat povědomí, pomáhat při rozhodování a podporovat akce ke zlepšení kvality ovzduší a ochraně veřejného zdraví.

Integrací analýzy dat, modelování a technik hodnocení rizik poskytuje hodnocení kvality ovzduší cenné poznatky o stavu atmosféry, předkládá strategie pro kontrolu znečištění a podporuje úsilí o ochranu lidského zdraví a životního prostředí před nepříznivými účinky znečištění ovzduší.[16][6]

3 Polutanty

Znečišťující látky ovzduší jsou látky přítomné v atmosféře, které mohou mít nepříznivé účinky na lidské zdraví, životní prostředí a ekosystémy. Tyto znečišťující látky pocházejí jak z přírodních, tak z antropogenních zdrojů a liší se svou chemickou složkou, zdroji a úrovněmi koncentrace. Níže jsou uvedeny některé běžné znečišťující látky ovzduší spolu s informacemi o jejich původu, typických úrovních koncentrace a charakteristikách:[12][3]

Částicové látky (PM)

Původ: Částicová hmota se skládá z drobných pevných nebo kapalných částic suspendovaných v ovzduší. Pochází z různých zdrojů, včetně spalovacích procesů (např. emise vozidel, průmyslové aktivity), prachových bouří, zemědělských činností a přírodních zdrojů (např. lesní požáry, sopečné erupce).

Úrovně koncentrace: Koncentrace PM se liší v závislosti na lokalitě, ročním období a blízkosti zdrojů znečištění. PM_{10} a $PM_{2,5}$ jsou nejčastěji monitorované frakce s typickými koncentracemi v rozmezí od mikrogramů po desítky mikrogramů na krychlový metr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Charakteristiky: PM mohou proniknout hluboko do respiračního systému, způsobují respirační a kardiovaskulární zdravotní problémy. Jemné částice ($PM_{2,5}$) jsou zvláště znepokojující kvůli své schopnosti obejít obranné mechanismy těla a dosáhnout krevního oběhu, což vede k systémovým zdravotním účinkům.

Dusitany (NO_2)

Původ: Dusitany pocházejí převážně z procesů spalování, jako jsou pohonné hmoty v automobilech, elektrárny a průmyslová zařízení. Vznikají také v atmosféře oxidací dusíkatých oxidů (NO_x) emitovaných těmito zdroji.

Úrovně koncentrace: Koncentrace NO_2 se liší v závislosti na hustotě dopravy, průmyslové činnosti a atmosférických podmínkách. Typické městské koncentrace se pohybují od několika částí na miliardu (ppb) po desítky ppb.

Charakteristiky: NO_2 je respirační dráždivina a může zhoršovat astma a další respirační problémy. Dlouhodobá expozice zvýšeným hladinám NO_2 je spojována s poklesem funkce plic a zvýšeným rizikem respiračních infekcí.

Oxidy síry (SO_2)

Původ: Oxidy síry jsou emitovány průmyslovými procesy, elektrárnami spalujícími fosilní paliva (zejména uhlí) a sopečnými erupcemi. Vznikají při spalování sírou obsahujících paliv a uvolňují se do atmosféry.

Úrovně koncentrace: Koncentrace SO₂ se liší v závislosti na průmyslové aktivitě, složení paliva a atmosférických podmínkách. Typické městské koncentrace se pohybují od několika ppb po desítky ppb.

Charakteristiky: SO₂ může dráždit respirační systém a zhoršovat astma a další respirační onemocnění. Také přispívá k tvorbě kyselých dešťů, které mohou poškozovat vegetaci, půdu a vodní ekosystémy.

Oxid uhelnatý (CO)

Původ: Oxid uhelnatý je primárně emitován při neúplném spalování uhlíkatých paliv, jako jsou benzín, nafta a dřevo. Emise vozidel jsou hlavním antropogenním zdrojem CO, ale také vzniká při průmyslových procesech a spalování biomasy.

Úrovně koncentrace: Koncentrace CO se liší v závislosti na hustotě dopravy, urbanizaci a meteorologických podmínkách. Typické městské koncentrace se pohybují od nízkých částí na milion (ppm) po jednociferné ppm.

Charakteristiky: CO je bezbarvý, bezpachý plyn, který může být toxický při vysokých koncentracích. Vazbou na hemoglobin v krevním řečišti snižuje jeho schopnost přenášet kyslík, což vede k symptomům jako jsou bolesti hlavy, závratě a dokonce smrt při těžkých případech.

Ozon (O₃)

Původ: Ozon je sekundární znečišťující látka vytvářená v atmosféře složitými chemickými reakcemi dusíkatých oxidů (NO_x) a těkavých organických sloučenin (VOCs) za přítomnosti slunečního světla. Emise vozidel, průmyslové procesy a přírodní emise přispívají k tvorbě ozonu.

Úrovně koncentrace: Koncentrace ozonu se liší v závislosti na intenzitě slunečního světla, teplotě a emisích prekurzorů. Typické městské koncentrace se pohybují od desítek ppb po více než stovky ppb během letních měsíců.

Charakteristiky: Ozon je vysoce reaktivní plyn, který může způsobit respirační podráždění, bolesti na hrudi a obtíže s dýcháním. Dlouhodobá expozice zvýšeným hladinám ozonu je spojována s poklesem funkce plic a zvýšeným rizikem respiračních onemocnění.

Těkavé organické sloučeniny (VOCs)

Původ: VOCs jsou emitovány z různých zdrojů, včetně výfukových plynů vozidel, průmyslových procesů, rozpouštědel, barev a spotřebních výrobků. Vznikají také z přírodních zdrojů, jako jsou rostliny a lesní požáry.

Úrovně koncentrace: Koncentrace VOCs se liší v závislosti na zdrojích emisí, urbanizaci a atmosférických podmínkách. Typické městské koncentrace se pohybují od ppb po ppm, v závislosti na konkrétní sloučenině.

Charakteristiky: VOCs přispívají k tvorbě ozonu a sekundárních organických aerosolů, které mohou mít nepříznivé účinky na lidské zdraví a životní prostředí. Některé VOCs jsou známé karcinogeny, zatímco jiné mohou způsobovat respirační podráždění a neurologické symptomy.

Další znečišťující látky: Kromě toho může znečištění ovzduší zahrnovat další znečišťující látky, jako jsou olovo (Pb), těžké kovy, amoniak (NH₃), polyaromatické uhlovodíky (PAHs) a perzistentní organické látky (POPs), každá s vlastními zdroji, úrovněmi koncentrace a zdravotními účinky.

Porozumění zdrojům, charakteristikám a zdravotním účinkům polutantů v ovzduší je klíčové pro vypracování účinných strategií řízení kvality ovzduší a ochranu veřejného zdraví a životního prostředí před nepříznivými účinky znečištění ovzduší.

3.1 Faktory ovlivňující koncentrace polutantů

Úrovně koncentrace polutantů v ovzduší mohou být ovlivněny různými faktory, včetně environmentálních podmínek, geografické polohy, průmyslových aktivit a meteorologických vzorců. Porozumění těmto faktorům je klíčové pro účinné hodnocení a řízení kvality ovzduší. Níže jsou uvedeny některé klíčové faktory a jejich dopady na koncentrace znečišťujících látek:[17]

Environmentální podmínky:

Topografie dané oblasti může ovlivnit rozptyl a akumulaci znečišťujících látek. Geografické rysy, jako jsou hory, údolí a pobřežní oblasti, mohou ovlivnit vzdušné proudění, což vede k lokalizovaným teplým skvrnám znečištění nebo rozptylu znečišťujících látek do větších oblastí. Vegetace: Vegetace působí jako přirozený filtr pro znečišťující látky tím, že absorbuje a zachycuje částice a plyny. Oblasti s hustou vegetací, jako jsou lesy a parky, mohou mít nižší koncentrace znečišťujících látek ve srovnání s městskými nebo průmyslovými oblastmi.

Blízkost vodních ploch, jako jsou řeky, jezera a oceány, může ovlivnit kvalitu ovzduší prostřednictvím procesů jako je vypařování, depozice a tvorba sekundárních znečišťujících látek. Pobřežní oblasti mohou zažívat vyšší úrovně určitých znečišťujících látek kvůli mořským vlivům.

Geografická poloha

Městské vs. Venkovské oblasti - Městské oblasti obvykle mají vyšší koncentrace polutantů kvůli intenzivním lidským aktivitám, dopravním zácpám, průmyslovým emisím a vyšší hustotě znečišťujících zdrojů. Naopak venkovské oblasti mohou mít

nižší úrovně znečišťujících látek, ale mohou být stále ovlivněny transportem znečišťujících látek z městských oblastí a zemědělskými aktivitami.

Místní zdroje emisí - Blízkost hlavních zdrojů emisí, jako jsou průmyslová zařízení, elektrárny, dálnice a letiště, může významně ovlivnit koncentrace znečišťujících látek v blízkých komunitách. Směr a rychlost větru hrají klíčovou roli při přenosu znečišťujících látek z zdrojů do přijímacích oblastí.

Průmyslové aktivity

Zdroje emisí - Průmyslové procesy, včetně výroby, výroby energie a spalování odpadu, jsou hlavními zdroji znečišťujících látek, jako jsou částice, oxidy síry, dusíku a těkavé organické sloučeniny. Umístění, rozsah a efektivita průmyslových zařízení mohou ovlivnit místní a regionální kvalitu ovzduší.

Regulační opatření - Přísné emisní normy, technologie pro kontrolu znečištění a opatření vynucování mohou pomoci zmírnit dopady průmyslových emisí na kvalitu ovzduší. Dodržování emisních předpisů a přijímání čistších výrobních postupů jsou klíčové pro snižování emisí znečišťujících látek z průmyslových zdrojů.

Počasí

Teplota a sluneční záření ovlivňují rychlost chemických reakcí a tvorbu sekundárních znečišťujících látek, jako je ozon. Vysoké teploty a hojné sluneční světlo mohou urychlit fotochemické reakce, což vede k zvýšeným úrovním ozonu, zejména v městských oblastech.

Vítr - Rychlost a směr větru hrají klíčovou roli při rozptylu znečišťujících látek a určení jejich prostorové distribuce. Stagnující meteorologické podmínky s nízkou rychlostí větru mohou vést ke kumulaci znečišťujících látek a špatné kvalitě ovzduší, zatímco silné větry mohou rozptýlovat znečišťující látky do širšího okolí.

Atmosférická stabilita - Atmosférická stabilita ovlivňuje vertikální míchání polutantů v atmosféře. Stabilní atmosférické podmínky, jako jsou teplotní inverze, mohou zadržovat polutanty blízko země, což vede k zvýšeným koncentracím znečišťujících látek a degradaci kvality ovzduší.

Zvážením interakcí mezi environmentálními, geografickými, průmyslovými a meteorologickými faktory mohou tvůrci politiky a manažeři kvality ovzduší vypracovat cílené strategie pro zmírnění znečištění ovzduší, ochranu veřejného zdraví a ochranu životního prostředí. Implementace opatření, jako jsou kontrola emisí, plánování využití půdy, městská zelená infrastruktura a zlepšení veřejné dopravy, může pomoci snížit koncentrace znečišťujících látek a zlepšit celkovou kvalitu ovzduší.

4 Negativní dopady znečištění ovzduší

Znečištění ovzduší představuje významné riziko pro lidské zdraví i životní prostředí, s rozsáhlými důsledky pro společnost jako celek. Od respiračních onemocnění po ekologické narušení jsou nepříznivé dopady znečištění ovzduší různorodé a rozsáhlé.

Níže zmíněné negativní dopady znečištění ovzduší zdůrazňují naléhavou potřebu komplexních strategií pro snížení emisí, zlepšení kvality ovzduší a ochranu veřejného zdraví a životního prostředí. Účinná opatření k ovlivnění znečištění, udržitelné plánování měst, investice do čistých technologií v energetice a mezinárodní spolupráce jsou nezbytné pro řešení složitých výzev, které znečištění ovzduší představuje v 21. století.

4.1 Zdravotní dopady

Kvalita venkovního i vnitřního vzduchu je důležitá pro lidské zdraví. Průměrný 70 kg vážící dospělý člověk vdechne asi 20 m³ vzduchu za den. Některé skupiny pacientů, jako jsou astmatici, atopičtí pacienti, pacienti s emfyzémem a bronchitidou, pacienti se srdcem a cévní mozkovou příhodou, cukrovkáři, těhotné ženy, senioři a děti, jsou zvláště citliví na zdravotní účinky toxických látek z venkovního ovzduší. Odhaduje se, že asi 20 % populace USA trpí astmatem, rozedmou plic, bronchitidou, cukrovkou nebo kardiovaskulárními chorobami, a je tak obzvláště náchylná ke znečištění venkovního ovzduší. Kromě toho venkovní vzduch slouží také jako hlavní zdroj částic a plynných znečišťujících látek pro vnitřní vzduch.[3]

Dýchací soustava

Četné studie popisují, že všechny typy znečištění ovzduší ve vysoké koncentraci mohou ovlivnit dýchací cesty. Nicméně podobné účinky jsou pozorovány také při dlouhodobé expozici nižším koncentracím znečišťujících látek. Příznaky, jako jsou podráždění nosu a hrdla, následované bronchokonstrikcí a dušností, zejména u astmatických jedinců, se obvykle objevují po vystavení zvýšeným hladinám oxidu siřičitého, oxidů dusíku a některých těžkých kovů, jako je arsen, nikl nebo vanad. Kromě toho částice, které pronikají alveolárním epitelem a ozón, iniciují zánět plic. U pacientů s plicními lézemi nebo plicními chorobami zánět vyvolaný polutanty zhorší jejich stav. Navíc látky znečišťující ovzduší, jako jsou oxidy dusíku, zvyšují náchylnost k infekcím dýchacích cest. Chronické vystavení ozónu a některým těžkým kovům snižuje funkci plic, těžké kovy jsou také zodpovědné za astma, rozedmu plic a dokonce rakovinu plic. Léze podobné emfyzému byly také pozorovány u myši vystavených oxidu dusičitému.[3][8]

Oběhová soustava

Oxid uhelnatý se váže na hemoglobin, modifikuje jeho konformaci a snižuje jeho schopnost přenášet kyslík. Tato snížená dostupnost kyslíku může ovlivnit funkci různých orgánů (a zejména orgánů s vysokou spotřebou kyslíku, jako je mozek a srdce), což má za následek zhoršenou koncentraci, pomalé reflexy a zmatenost. Kromě zánětu plic jsou systémové zánětlivé změny indukovány prachovými částicemi, které stejně ovlivňují koagulaci krve. Znečištění vzduchu, které vyvolává podráždění plic a změny srážení krve, může ucpat (srdeční) krevní cévy, což vede k angině pectoris nebo dokonce k infarktu myokardu. V důsledku znečištění těžkými kovy (konkrétně rtutí, niklem a arsenem) byly pozorovány příznaky jako tachykardie, zvýšený krevní tlak a anémie v důsledku inhibičního účinku na krvetvorbu. Epidemiologické studie spojily expozici dioxinu se zvýšenou úmrtností způsobenou ischemickou chorobou srdeční a u myší se ukázalo, že těžké kovy mohou také zvýšit hladiny triglyceridů.[3][8]

Nervová soustava

Nervovou soustavu ovlivňují především těžké kovy (olovo, rtuť a arsen) a dioxiny. Po expozici arsenu, olovu a rtuti byla pozorována neurotoxicita vedoucí k neuropatiím se symptomy, jako jsou poruchy paměti, poruchy spánku, hněv, únava, třes rukou, rozmazané vidění a nezřetelná řeč. Expozice olovu způsobuje poškození dopaminového systému, glutamátového systému a receptorového komplexu N-methyl-d-aspartát (NMDA), které hrají důležitou roli v paměťových funkcích. Rtuť je také zodpovědná za některé případy neurologické rakoviny. Dioxiny snižují rychlost nervového vedení a narušují duševní vývoj dětí.[3][8]

Vylučovací soustava

Těžké kovy mohou vyvolat poškození ledvin, jako je počáteční tubulární dysfunkce doložená zvýšeným vylučováním proteinů s nízkou molekulovou hmotností, které progreduje ke snížení glomerulární filtrace (GFR). Kromě toho zvyšují riziko tvorby kamenů nebo nefrokalcinózy a rakoviny ledvin.[3][8]

Trávicí soustava

Dioxiny vyvolávají poškození jaterních buněk, což se projevuje zvýšením hladin určitých enzymů v krvi, stejně jako rakovina trávicího traktu a jater.[3][8]

4.2 Dopady na životní prostředí

Poškození ekosystémů - Znečištění ovzduší může poškodit ekosystémy a biodiverzitu prostřednictvím depozice znečišťujících látek na zemské a vodní plochy. Kyselé deště, vznikající v důsledku depozice oxidů síry a dusíku, mohou okyselovat půdu a vodu, poškozovat vegetaci, vodní habitaty a citlivé ekosystémy.[11]

Zničení biotopů - Polutanty, jako je ozon a oxidy dusíku, mohou narušit růst rostlin a poškodit vegetaci, což vede ke snížení výnosů zemědělských plodin, úpadku lesů a ztrátě biotopu pro divokou zvěř. Kyselá depozice může narušit půdní mikrobiální komunity a změnit cyklus živin, dále ovlivňující zdraví ekosystémů.[11]

Znečištění vody a půdy - Polutanty unášené vzduchem mohou být deponovány na zemské a vodní povrchy, kontaminují půdu, povrchové vody a podzemní vody. Těžké kovy, perzistentní organické látky (POPs) a další toxické látky se mohou hromadit v životním prostředí, představují rizika pro vodní život, divokou zvěř a lidské zdraví prostřednictvím potravního řetězce.[11]

Změna klimatu - Určité polutanty, zejména oxid uhličitý (CO_2), methan (CH_4) a uhlík (saze), přispívají ke změně klimatu tím, že zachycují teplo v atmosféře a mění radiativní rovnováhu Země. Oteplovací účinek skleníkových plynů zhoršuje extrémní teploty, tání ledovců, stoupání hladin moří a narušuje meteorologické vzory, vedoucí k častějším a intenzivnějším vlnám tepla, bouřím a přírodním katastrofám.[11]

5 Predikční algoritmy

Prediktivní algoritmy, také známé jako prediktivní modelování nebo algoritmy strojového učení, jsou výpočetní techniky používané k předpovídání budoucích výsledků nebo trendů na základě historických dat a vzorců. Tyto algoritmy analyzují velké datové sady k identifikaci vztahů mezi vstupními proměnnými (příznaky) a cílovými proměnnými, což umožňuje předpověď neznámých nebo budoucích hodnot.

Prediktivní algoritmy zahrnují širokou škálu technik, včetně regresní analýzy, klasifikačních algoritmů, předpovídání časových řad a metody ensemblerů. Regresní modely, jako jsou lineární regrese a polynomiální regrese, se používají k předpovídání spojitých číselných výstupů, zatímco klasifikační algoritmy, jako jsou logistická regrese a rozhodovací stromy, se používají k předpovídání kategoriálních výstupů.

Algoritmy předpovídání časových řad, jako jsou autoregresní integrovaný pohyblivý průměr (ARIMA) a metody exponenciálního vyhlazování, jsou speciálně navrženy k analýze časových dat a předpovídání budoucích hodnot na základě minulých pozorování. Metody ensemblerů, jako jsou náhodné lesy a gradientní boosting, kombinují více individuálních modelů k zlepšení přesnosti a odolnosti předpovědí.

Úspěch prediktivních algoritmů závisí na kvalitě vstupních dat, výběru příznaků, tréninku modelů a technikách evaluace. Předzpracování dat, inženýrství příznaků a ladění modelů jsou klíčovými kroky v procesu prediktivního modelování pro zajištění optimálního výkonu a obecné schopnosti generalizace.

Prediktivní algoritmy nacházejí uplatnění v různých oblastech, včetně financí, zdravotnictví, marketingu, environmentální vědy a inženýrství. Jsou používány pro úkoly jako je předpověď prodejů, hodnocení rizik, diagnostika onemocnění, detekce anomálií a předpověď poptávky.

Shrnutím lze říci, že prediktivní algoritmy hrají klíčovou roli při získávání cenných poznatků z dat, rozhodování na základě informací a předpovídání budoucích událostí nebo trendů. Využíváním historických dat a pokročilých analytických technik prediktivní algoritmy umožňují organizacím a jednotlivcům získat konkurenční výhodu, optimalizovat procesy a stimulovat inovace.

5.1 Uplatnění v oblasti analýzy kvality ovzduší

Pokroky v oblasti datových věd a strojového učení otevřely nové možnosti pro analýzu a predikci úrovně znečištění ovzduší s větší přesností a účinností. Prediktivní algoritmy využívají historická data, měření v reálném čase a environmentální faktory k predikci koncentrací znečišťujících látek, identifikaci trendů a posouzení potenciálních dopadů emisí na kvalitu ovzduší. Tato sekce zkoumá aplikaci prediktivních algoritmů při analýze znečištění ovzduší:

Sběr a předzpracování dat

Prediktivní algoritmy spoléhají na obrovské množství dat, včetně historických záznamů o znečištění, meteorologických údajů, geografických informací a snímků ze satelitů. Techniky předzpracování dat jsou použity k čištění, normalizaci a integraci heterogenních datových sad, zajištění kvality a konzistence dat pro trénink a evaluaci modelů.

Výběr příznaků

Techniky výběru příznaků jsou použity k identifikaci nejrelevantnějších prediktorů, které přispívají k variabilitě znečištění ovzduší. Inženýrství příznaků zahrnuje transformaci a vytváření nových příznaků z hrubých dat, aby se zlepšila výkonnost modelu a zachytily složité vztahy mezi prediktory a úrovněmi znečištění.

Vývoj a trénink modelů

Různé algoritmy strojového učení, včetně regresních modelů, neuronových sítí, rozhodovacích stromů a metod ensemblerů, jsou využity k vývoji prediktivních modelů pro předpověď kvality ovzduší. Tyto modely jsou trénovány pomocí označených datových sad, kde vstupními funkcemi jsou údaje o úrovni znečištění, meteorologické parametry a geografické souřadnice, které jsou spojeny s odpovídajícími cílovými hodnotami indexů kvality ovzduší nebo koncentracemi polutantů.

Evaluace a validace modelů

Prediktivní modely jsou hodnoceny pomocí metrik jako je střední kvadratická chyba (MSE), kořenová střední kvadratická chyba (RMSE), průměrná absolutní chyba (MAE) a koeficient determinace (R-kvadrát) k posouzení jejich přesnosti, spolehlivosti a obecné schopnosti generalizace. Křížová validace a nezávislé validační data-sady jsou použity k ověření výkonnosti modelu přes různé časové a prostorové škály.

Předpovídání v reálném čase a podpora rozhodování

Jakmile jsou modely trénovány a ověřeny, mohou být nasazeny k generování předpovědí kvality ovzduší v reálném čase, vydávání časných varování pro události znečištění a podpora rozhodování politiků, urbanistů a úředníků veřejného zdravotnictví. Tyto předpovědi umožňují proaktivní opatření ke snížení znečištění, omezení rizik expozice a ochranu zranitelných populací před nepříznivými zdravotními účinky.

Integrace s monitorovacími sítěmi a zařízeními IoT

Prediktivní algoritmy mohou být integrovány s existujícími sítěmi monitorování kvality ovzduší a zařízeními Internetu věcí (IoT) k zlepšení prostorového pokrytí, granularity dat a temporálního rozlišení měření znečištění. Bezdrátové senzorové sítě, drony a satelitní platformy pro monitorování poskytují další datové proudy pro vstupy a validaci modelů.

Využitím síly prediktivních algoritmů mohou výzkumníci a zúčastněné strany získat cenné poznatky o složitých dynamikách znečištění ovzduší, zlepšit přesnost předpovědí a vyvinout efektivní strategie pro kontrolu znečištění a ochranu životního prostředí. Trvalý výzkum a inovace v této oblasti jsou nezbytné pro zvládnutí nových výzev a zajištění udržitelného a zdravého městského prostředí.

Závěr

Literatura

- [1] Akimoto, H.: Global air quality and pollution. *Science*, ročník 302, č. 5651, 2003: s. 1716–1719.
- [2] Council, N. R.; on Earth, D.; Studies, L.; aj.: *Air quality management in the United States*. National Academies Press, 2004.
- [3] Curtis, L.; Rea, W.; Smith-Willis, P.; aj.: Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environment international*, ročník 32, č. 6, 2006: s. 815–830.
- [4] Fenger, J.: Urban air quality. *Atmospheric environment*, ročník 33, č. 29, 1999: s. 4877–4900.
- [5] Fiore, A. M.; Naik, V.; Spracklen, D. V.; aj.: Global air quality and climate. *Chemical Society Reviews*, ročník 41, č. 19, 2012: s. 6663–6683.
- [6] Harrop, O.: *Air quality assessment and management: A practical guide*. CRC Press, 2018.
- [7] Jones, A. P.: Indoor air quality and health. *Atmospheric environment*, ročník 33, č. 28, 1999: s. 4535–4564.
- [8] Kampa, M.; Castanas, E.: Human health effects of air pollution. *Environmental pollution*, ročník 151, č. 2, 2008: s. 362–367.
- [9] Krzyzanowski, M.; Cohen, A.: Update of WHO air quality guidelines. *Air Quality, Atmosphere & Health*, ročník 1, 2008: s. 7–13.
- [10] Lewis, A. C.; Lee, J. D.; Edwards, P. M.; aj.: Evaluating the performance of low cost chemical sensors for air pollution research. *Faraday discussions*, ročník 189, 2016: s. 85–103.
- [11] Manisalidis, I.; Stavropoulou, E.; Stavropoulos, A.; aj.: Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in public health*, ročník 8, 2020: str. 505570.
- [12] Namieśnik, J.; Górecki, T.; Łukasiak, J.; aj.: Indoor air quality (IAQ), pollutants, their sources and concentration levels. *Building and Environment*, ročník 27, č. 3, 1992: s. 339–356.
- [13] Ruda, A.: *Atmosféra*. 2014.
URL https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/02-atmosfera.html

- [14] Schlesinger, W. H.; Bernhardt, E. S.: The atmosphere. *Biogeochemistry*, 2020: str. 51.
- [15] Staf, M.: Historie atmosféry. 2023.
URL <https://web.vscht.cz/~stafm/Staf%20Marek%20-%20Pedagogika/Chemie%20ovzdu%C5%A1%C3%AD%20-%20N216007/Rok%202023/Tisk%20-%20Staf;%20Chemie%20ovzdu%C5%A1%C3%AD;%202;%20audio/Tisk%20-%20Staf;%20historie%20atmosf%C3%A9ry%20pro%20audio.pdf>
- [16] Yang, Z.; Wang, J.: A new air quality monitoring and early warning system: Air quality assessment and air pollutant concentration prediction. *Environmental research*, ročník 158, 2017: s. 105–117.
- [17] Zhang, J.; Zhang, L.-y.; Du, M.; aj.: Identifying the major air pollutants base on factor and cluster analysis, a case study in 74 Chinese cities. *Atmospheric Environment*, ročník 144, 2016: s. 37–46.
- [18] Zheng, Y.; Liu, F.; Hsieh, H.-P.: U-air: When urban air quality inference meets big data. In *Proceedings of the 19th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, 2013, s. 1436–1444.