

Kvalita ovzduší a meteorologické a rozptylové podmínky

Znečištění ovzduší představuje velmi důležité téma. Denně se každý dospělý člověk nadechne v průměru 22tisíckrát a při každém nádechu vdechne do plic přibližně půl litru vzduchu. V celkovém součtu tak našimi plícemi denně projde více než 13 kg vzduchu, což je více, než kolik za den sníme a vypijeme dohromady. Kvalita ovzduší by tedy měla zajímat každého z nás, a to obzvláště proto, že vzduch, který dýcháme, není často tak čistý, jak bychom si přáli. Znečištění ovzduší je považováno za nejvýznamnější environmentální zdravotní riziko v Evropě. Světová zdravotnická organizace (WHO) dokonce odhaduje, že 99 % světové populace žije v oblasti, kde úroveň znečištění nesplňuje standardy, které WHO v tomto směru doporučuje. V oblasti kvality ovzduší panuje mezi českou populací řada mýtů, souvisejících s neporozuměním problematice nebo se stavem, který zde panoval v minulosti. Kromě toho je dobré si vysvětlit některé základní termíny, protože bývají často nepochopeny.

Emise, nebo imise?

Při hodnocení míry znečištění se setkáváme se dvěma termíny – emisemi a imisemi. Obě slova značí určité množství znečištění, vyjádřené většinou jako hmotnost na určitou jednotku objemu. Přesto se tyto termíny velmi odlišují významově. Slovo emise znamená množství znečištění, které vyprodukuje konkrétní zdroj znečišťování za určitou jednotku času. Může jít např. o automobil, komín průmyslového areálu nebo třeba komín rodinného domu vytápěného kotle na pevná paliva. Naopak termínem imise nazýváme množství znečištění v určitém místě a čase. Imise představují vliv kombinace velkého množství různých zdrojů znečišťování v bližším i vzdálenějším okolí, a kromě toho jsou ovlivňovány i dalšími faktory, především pak meteorologickými a rozptylovými podmínkami. Vztah mezi emisemi a imisemi tedy není lineární. Při zhoršených rozptylových podmínkách mohou při stejném množství emisí imise narůstat vlivem kumulace znečištění v dané oblasti.

Legislativa obsahuje určité prahové hodnoty, s nimiž jsou emise a imise srovnávány a podle toho hodnoceny. Emisní limity stanovují, jaké množství znečištění může konkrétní zdroj vyprodukovat. Může jít např. právě o limity pro vozidla, které jsou pak ověřovány v rámci technických kontrol a v případě překročení je nutné řešit způsob snížení emisí daného vozu. Imisní limity jsou stanoveny v zákoně o ochraně ovzduší, srovnávají se s koncentracemi naměřenými na stanicích imisního monitoringu rozmístěných po celé České republice, které sledují úroveň znečištění v různých oblastech, ať už městských, předměstských, nebo venkovských. V případě, že dojde v některé oblasti k překročení imisního limitu, je nutné se touto situací zabývat a hledat způsoby snížení úrovně znečištění v daném místě.

Co ovlivňuje úroveň znečištění?

Množství emisí přímo závisí na charakteru a provozu konkrétního zdroje, pro který emise stanovujeme. U imisí je však situace složitější. Jak bylo zmíněno výše, kromě samotného množství emisí má na úroveň znečištění velmi výrazný vliv i další faktor – meteorologické a rozptylové podmínky.

Tento fakt je třeba zohlednit např. při hodnocení vývoje kvality ovzduší v čase. V takovém případě se musíme dívat na delší horizont a trendy hodnotit za období alespoň pěti, ideálně 10 let. Meziroční rozdíly bývají totiž primárně dány právě odlišnými meteorologickými a rozptylovými podmínkami. Změny v množství emisí bývají relativně pomalé a spočívají mimo jiné v dlouhodobé obnově vozového parku, výměnách starých kotlů na pevná paliva v domácnostech i zlepšování technologických procesů v různých průmyslových odvětvích, což jsou vše příklady snižování emisí. Rozdíly v počasí však bývají i meziročně často velmi výrazné – rok od roku se může lišit v množství srážek, charakteru zimy, s čímž souvisí např. délka topné sezony a intenzita vytápění, v počtu horkých jasných dnů v létě apod. Meteorologických parametrů ovlivňujících kvalitu ovzduší je celá řada. Podíváme se tedy na ty základní.

● Rychlost a směr větru a kvalita ovzduší

Jedním z nejvýznamnějších je parametr proudění – vítr. Úroveň znečištění v konkrétním místě a čase ovlivňuje jak rychlost větru, tak jeho směr. Obecně platí, že čím je rychlost větru vyšší, tím je kvalita ovzduší lepší. Vyšší rychlost větru znamená lepší rozptyl, a znečišťující látky se tak snadněji šíří do okolí, čímž také dochází k jejich rozředování v atmosféře. Je však dobré si říci, že i tady existují výjimky.

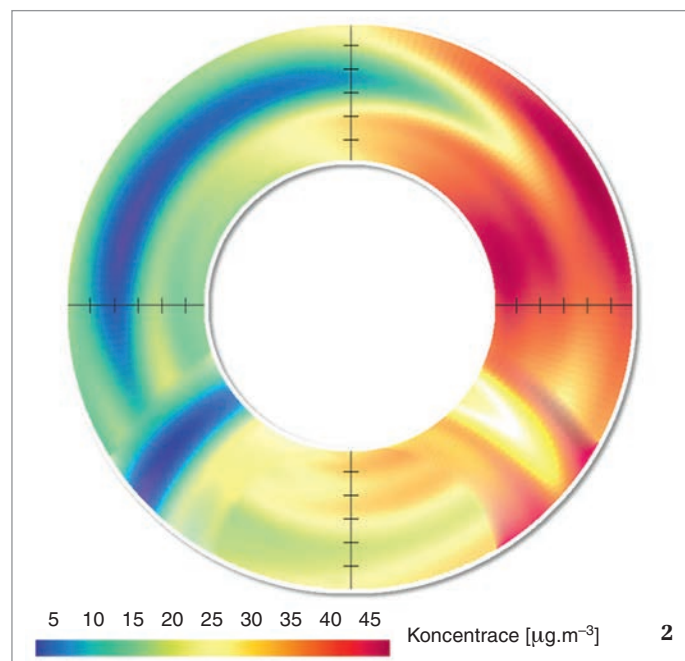
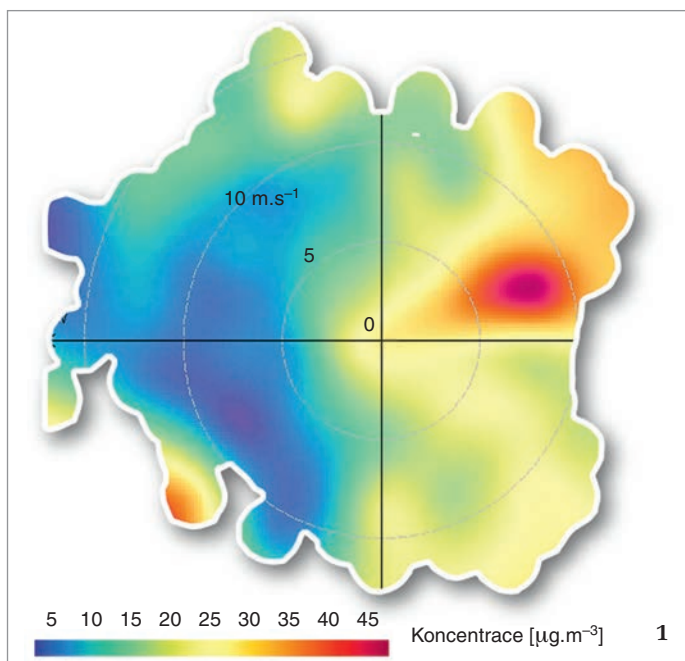
Výše uvedený princip vychází z předpokladu, že zdroje znečišťování ovzduší

1 Příklad koncentrační růžice vyjadřující vztah mezi rychlostí a směrem větru a koncentrací znečišťující látky na určité lokalitě. Můžeme říci, že nejvyšší koncentrace dané látky se v oblasti vyskytovaly při severovýchodním proudění (tedy ze severovýchodního směru) – vyšší hodnoty na zvolené barevné škále znázorněny červenými odstíny, které jsou patrné zejména v pravém horním kvadrantu. Zároveň vidíme, že vyšší koncentrace byly pozorovány při vyšších rychlostech větru – okolí středu má spíše žlutý odstín, červený odstín se ukazuje až ve větší vzdálenosti od středu. Taková situace je určitým indikátorem, že zdroj znečištění je spíše vzdálenější. V případě blízkých zdrojů bývají hodnoty koncentrací nejvyšší při nízké rychlosti větru, kdy se znečištění v dané oblasti kumuluje. Dále můžeme říci, že obecně nižší míra znečištění zde přichází hlavně ze západního směru (modrý odstín).

2 Příklad anulární koncentrační růžice, která vyjadřuje směr proudění, denní dobu a koncentrace vybrané znečišťující látky. Nejvyšší koncentrace opět vidíme při severovýchodním proudění (červené odstíny v pravé horní části prstence). Zároveň je patrné, že nejsytější odstíny červené se vyskytují u obou okrajů prstence, uprostřed je intenzita barvy nižší. To znamená, že koncentrace jsou zvýšené především v ranních a večerních hodinách. Může jít např. o vliv vytápění, pro které je charakteristický právě denní chod s maximem ve večerních hodinách (lidé po práci doma zatopí) a nárůstem i v ranních hodinách (někdo si přitápí i ráno). V dopravně zatížených lokalitách je typická výrazná špička v ranních hodinách a nárůst i v odpoledních. U přízemního ozonu, jehož vznik je mimo jiné ovlivněn množstvím a intenzitou slunečního záření, bývá maximum pozorováno v odpoledních hodinách, v noci naopak koncentrace klesají a ráno jsou nejnižší. Více v textu. Všechny orig. J. Brzezina

souvisejí s lidskou aktivitou (antropogenní zdroje), a tedy že nejvyšší míru znečištění najdeme v obydlených oblastech. Je žádoucí, aby se odtud znečištění dostávalo pryč, šířilo dále do okolí a jeho koncentrace se snižovala. Jenže existují i přírodní zdroje znečišťování ovzduší, které nijak nesouvisejí s lidskou aktivitou. Znamená to, že i při absenci člověka na Zemi by koncentrace některých látek v ovzduší, jako jsou např. prachové částice – odborně suspendované částice, zkracované jako PM – nebyly na naší planetě nulové. K přírodním zdrojům patří třeba lesní požár, sopečný výbuch, větrná eroze půdy nebo mořský aerosol.

Dobrym příkladem situace, kdy vyšší rychlost větru nebyla z pohledu kvality ovzduší žádoucí, byl rozsáhlý lesní požár v Českém Švýcarsku v létě 2022. Lesní požár je spalovací proces a do ovzduší se během hoření dostává relativně velké množství různých znečišťujících látek. Znečištění však vznikalo přímo na území národního parku, který byl navíc kvůli události pro veřejnost uzavřen. Dokud byla rychlost



větru nízká, znečišťující látky se koncentrovaly v dané oblasti. Přestože tedy byla úroveň znečištění přímo v místech požáru extrémní, z pohledu dopadů na člověka to nepředstavovalo výraznější problém, protože expozice (vystavení) obyvatel tomuto znečištění byla relativně malá. Ve chvíli, kdy se však zvýšila rychlost proudění, znečištění začalo rychle postupovat do širšího okolí. K tomu došlo 26. července, kdy byl zápach z hoření cítit i na území hlavního města. Výrazně zvýšené koncentrace částic byly naměřeny zejména na stanicích nejbližší požáru, ovlivněny ale byly i vzdálenější stanice, mimo jiné v Ústeckém, Pardubickém, Královéhradeckém nebo Středočeském kraji.

Pro mnohé bývá překvapením, že kvalitu ovzduší v místě, kde se zrovna vyskytují, ovlivňuje něco, co je desítky nebo stovky kilometrů daleko. Realita je však taková, že znečišťující látky se v atmosféře mohou šířit i na mnohem větší vzdálenosti až tisíce kilometrů, říkáme tomu dálkový transport. Zde je dobrým příkladem dalšího přírodního zdroje znečišťování dálkový transport částic saharského písečného prachu (blíže na str. 225–227). I v tomto případě hraje klíčovou roli rychlost a směr větru. Z pohledu dopadů na kvalitu ovzduší jsme zažili extrémní epizodu přechodu saharského písečného prachu přes naše území na přelomu března a dubna 2024. Částice ze Sahary se k nám dostávají v průměru několikrát za rok, často se ale pohybují vysoko v atmosféře nebo jich nemusí být moc. Na jaře 2024 ale přes naše území prošlo velké množství částic písečného prachu, které se navíc pohybovaly v přízemní vrstvě a měly výrazný dopad na koncentrace prachových částic a množství imisí naměřených na stanicích. Situace byla dokonce taková, že na naprosté většině našeho území byla vyhlášena smogová situace z důvodu vysokých koncentrací částic PM_{10} , tedy o velikosti (průměru) do 10 μm . Zhoršená situace u nás trvala několik dní a typické bylo zhoršení v denní dobu a zlepšení v noci. V nočních hodinách se totiž vždy snižovala rychlost větru, částice se postupně usazovaly na zem a koncentrace

se snižovaly. S dalším nárůstem rychlosti větru v ranních hodinách se sem intenzivněji začaly dostávat další částice proudící z jihu a jihozápadu.

Nižší rychlosti větru jsou z pohledu míry znečištění žádoucí např. i v blízkosti stavebních prací. Stavební a demoliční činnosti jsou vždy spojeny s určitou mírou znečištění šířícího se do okolí, snahou je proto tyto vlivy minimalizovat. Některé práce, jako právě demolice zdí apod., je potřeba provádět při nižších rychlostech větru, aby se „neprášilo do okolí“.

Obecně však můžeme říci, že ve většině případů má vyšší rychlost větru pozitivní dopad na úroveň znečištění v okolí. Velmi důležitý je také směr větru. Nemá sice vliv na absolutní množství znečištění, ale ovlivňuje to, která oblast bude více, nebo naopak méně zasažena. Určitý zdroj znečišťování ovzduší ovlivňuje především oblasti nacházející se po směru proudění, který právě panuje. Opět platí, že tento zdroj může být i velmi vzdálený. Saharský písečný prach např. naše území ovlivňuje takřka výhradně při jižním nebo jihozápadním proudění. Na jižní Moravě bývá kvalita ovzduší zhoršená v zimním období zejména severovýchodním prouděním, kdy se do tohoto regionu dostává znečištění z Moravskoslezského kraje a Polska, kde je situace hlavně během topné sezony často zhoršená.

Rychlost a směr větru jsou pro svůj význam používány jako klíčový faktor při snaze o identifikaci zdrojů znečišťování ovzduší. Jde o velmi složitou disciplínu, která v řadě ohledů připomíná spíše detektivní práci. Skládáme dohromady různé střípky informací o zdrojích v okolí, charakteru terénu, směru a rychlosti větru, složení a velikosti částic, koncentracích různých znečišťujících látek atd. a snažíme se zjistit, co by mohlo být tím, co v daném místě a čase ovlivňuje kvalitu ovzduší a do jaké míry. Nutno podotknout, že zdrojů, které v jednu chvíli působí na určité místo, jsou doslova tisíce a hodnocení je o to komplikovanější, že látky spolu v atmosféře dále reagují. Co naměříme, tak nemusí odpovídat a často neodpovídá látkám, které

byly konkrétním zdrojem emitovány. Znečišťující látky vznikající přímo u zdroje označujeme jako primární, ty, které vznikly až reakcemi v atmosféře, jako sekundární.

Hodnocení v oboru kvality ovzduší zahrnuje jak různé matematické metody a modely, tak např. specializované vizualizace, které mají usnadnit právě vysvětlování, jaké hodnoty koncentrací znečišťujících látek byly naměřeny a co je příčinou. Příkladem vizualizací jsou koncentrační růžice – z hlediska kvality ovzduší popisují v jednom diagramu tři různé parametry. Jedním z nich je směr větru, druhým koncentrace znečišťující látky, třetím bývá často rychlost větru. Lze ale použít i jiné, třeba denní dobu, roční období nebo teplotu vzduchu.

V té nejpoužívanější formě reprezentuje koncentrační růžice vztah mezi rychlostí a směrem větru a právě úrovní znečištění (obr. 1). Úhel od středu udává směr větru jako na kompasu, horní část růžice tedy ukazuje severní proudění, spodní jižní, vlevo západní a vpravo východní proudění – směr větru indikuje v meteorologii odkud fouká, nikoli kam. Vzdálenost bodu od středu reprezentuje rychlost větru, střed značí bezvětrí, čím dále leží bod od středu, tím je rychlost proudění vyšší. Koncentrace znečišťující látky je pak vyjádřena barvou daného bodu. Růžice má nejvyšší vypovídající hodnotu, pokud je vytvořena z většího množství dat, např. z ročních hodnot, kdy lze vyčíst dlouhodobé vztahy mezi uvedenými veličinami a z toho dělat další závěry.

Jak již bylo zmíněno, nejde o jediný typ koncentrační růžice, který se při analýze používá. Další příklad ukazuje růžici, která tvarem připomíná prstenec (obr. 2). Úhel od středu opět udává směr větru, barva koncentraci znečišťující látky. Místo rychlosti větru však tento typ vyjadřuje určité časové období. U okraje blíže ke středu prstence může být např. půlnoc nebo leden, u vnějšího okraje prstence 23. hodina dne, resp. prosinec. Můžeme tedy sledovat nejen to, při jakém směru větru je koncentrace nejvyšší, ale také v kterou denní nebo roční dobu.

● Další meteorologické parametry

Kromě směru a rychlosti větru ovlivňuje kvalitu ovzduší i řada dalších parametrů, z nichž některé si stručněji popíšeme níže.

Teplota vzduchu působí na úroveň znečištění přímo i nepřímo. Přímý vliv spočívá především ve vertikálním teplotním zvrstvení atmosféry. Pokud se vytvoří přízemní teplotní inverze, v určité výšce nad zemí je vzduch teplejší než u země. Vzduch tedy nemá tendenci stoupat vzhůru a znečištění se kumuluje u země. Tuto situaci lze přirovnat k hrnci, ve kterém vaříme a vychází z něj pára a na který v případě teplotní inverze položíme pokličku. Přestože množství vznikající páry bude totožné (nemění se množství emisí), v hrnci bude koncentrace páry vyšší, protože se zde hromadí (vyšší imise). Nepřímý vliv teploty vychází z faktu, že s teplotou vzduchu se mění množství emisí z některých zdrojů. Zejména v zimě např. souvisí s intenzitou topení a v návaznosti na to i emisemi z vytápění.

Kvalitu ovzduší ovlivňují také srážky, a to jak pevné (sněžení), tak kapalné (déšť). Tzv. mokrou depozicí jsou částice doslova smývány z atmosféry na zem a při intenzivnějším dešti se ovzduší velmi rychle a účin-

ně pročistí. To bylo např. dobře patrné při již zmíněné epizodě přechodu saharského písečného prachu přes naše území, kdy se koncentrace prachových částic během jediné hodiny na jižní Moravě snížily více než desetinásobně díky tomu, že začalo pršet.

Také sluneční záření má vliv na úroveň znečištění. Třeba přízemní ozon, znečišťující látka, vzniká fotochemickou reakcí, a tedy pro svůj vznik potřebuje sluneční záření. Čím je jeho intenzita vyšší, tím účinněji tato reakce probíhá a koncentrace přízemního ozonu se zvyšují. Rovněž sluneční záření působí nepřímo – např. když v zimě ohřívá domy, díky tomu snižuje nutnost vytápění a v konečném důsledku snižuje množství emisí.

Vývoj kvality ovzduší

Na závěr něco málo k tomu, jakou vlastně máme kvalitu ovzduší v České republice a jaký je dlouhodobý vývoj. Pozitivní je, že kvalita ovzduší se u nás neustále zlepšuje a ve srovnání se stavem na konci 80. let minulého století je dnes úroveň znečištění ovzduší výrazně nižší. Nejhorší byla situace na našem území přibližně v polovině

80. let 20. století. Od 90. let pak dochází k výraznějšímu zlepšení.

Nejpalčivější problém v současnosti představuje lokální vytápění domácností – staré kotle na pevná paliva (uhlí, dřevo), jež dokážou vyprodukovat obrovské množství znečištění včetně řady karcinogenních látek, které se následně šíří do okolí. Zatíženy jsou v tomto směru zejména malé obce, kde je podíl vytápění kotli na pevná paliva vyšší než ve velkoměstech a kde právě bývá situace v republice v topné sezoně nejhorší.

Meziroční rozdíly v úrovni znečištění souvisejí zejména s tím, jaké bylo daný rok počasí, v dlouhodobém hledisku však u naprosté většiny látek pozorujeme klesající trend. Zatím poslední r. 2023 hodnotíme jako rok s historicky nejlepší kvalitou ovzduší za dobu sledování od konce 60. let 20. století.

Přestože jsou tedy dlouhodobé trendy v kvalitě ovzduší dány zejména změnami v emisích znečišťujících látek, krátkodobý stav a šíření látek v ovzduší jsou do značné míry determinovány mimo jiné směrem a rychlostí větru.

Pavel Kovář

Kam vítr, tam spad – rostlinstvo tvaruje očistu prostředí

Skládkování do vzduchu, tedy vypouštění odpadních poléťavých znečištěnin ve všech skupenstvích z komínů a výfuků, se nevyplácí – s ohledem na skleníkový efekt nebo bezprostřední účinky na zdraví. Jenže jsme si na to zvykli, navzdory modernějším technologiím umožňujícím určité frakce zachycovat (filtry, separátory, jímací zařízení se sorbenty, dekontaminační plochy, čističky vzduchu apod.). Zdánlivá neomezenost atmosférického „smetištního“ prostoru je samozřejmě fikcí, kterou také vystihuje tvrzení, že „čím vyšší komín, tím větší, a tudíž bezpečnější rozptýl odpadní suspenze“. Znečištěniny se nikam neztratí, nanejvýš se v určitých výškách nad zemským povrchem stratifikují (shlukují do vrstev), avšak také z atmosféry vypadávají a vracejí se do terestrického prostředí, ať už nezměněné, nebo transformované. Ve formě suché i mokré depozice (ukládání) interagují s pozemskými povrchy, v první řadě s vegetačním krytem. Variabilita morfologických vlastností rostlinných druhů, potažmo tvarová členitost celých vegetačních formací, může nabízet alternativy k využití rostlinstva v purifikaci biotopů se zohledněním terénních povětrnostních poměrů.

Tematika znečišťujících látek se začala s ohledem především na pokusy s atomovými zbraněmi a lokální katastrofické epizody úniků znečištěnin rozvíjet zhruba od poloviny 20. století jako subdisciplína v ekologii. Vybudovala si terminologický aparát – známé jsou dnes i veřejnosti pojmy jako emise (substance v místě opuštění zdroje) a imise (substance po absolvování transportu dopadající na zemský povrch), zdroj (anglicky source), spad (fallout), pro-

pad (sink) nebo cílový, resp. zasažený objekt (target, receptor). Užitečným vstupem pro studium depozičních mechanismů může být práce A. C. Chamberlaina (1975). Látky hromaděné po transportu ovzduším na rostlinné povrchy podléhají jiným zákonitostem než při příjmu kořeny z půdy a následné depozici v rostlině. Proto je třeba rozlišovat obě formy expozičních cest. Přestup přes hraniční vrstvu z atmosféry do půdy, tedy v přirozeném prostředí vět-



šinou přes vegetaci, což je do různé míry složitá struktura, začíná vstupem (kontaminací). Kromě příjmu s vodou v půdním roztoč podzemními orgány se příjem může odehrávat přes nadzemní část (analogie s „hnojením na list“ v zemědělství). V podrobnějším pohledu figurují termíny jako interceptce (zachycení), impakce (náraz, kolize), adsorpce (vázáni na povrch přitažlivými silami), translokace (přemístění), resuspenze (znovuuvolnění), retence (zadržení) atd. Shrnujícím termínem je již zmíněná depozice a do jejích modifikací vstupuje meteorologický faktor – déšť, mráz, inverzní zvrstvení přízemní atmosféry, turbulentní prostory apod. Nepředvídané události v prostředí představují pro ekologický výzkum levné „neřízené pokusy“. Vedly od observačních přístupů (s výhodou minimálního rušení ze strany badatele, ale