

Autor	RNDr. Jan Pretel
Organizace	Český hydrometeorologický ústav, Praha
Název textu	Předpoklady výskytu zvýšené sekundární prašnosti
Blok	BK14 - Sekundární prašnost
Datum	Prosinec 2001
Poznámka	Text neprošel redakční ani jazykovou úpravou

Předpoklady výskytu zvýšené sekundární prašnosti

1	Úvod	3
2	Prašný aerosol a sekundární prašnost	4
2.1	<i>Prašný aerosol</i>	4
2.2	<i>Význam sekundární prašnosti</i>	6
2.3	<i>Vlhkost povrchu</i>	7
2.4	<i>Proudění vzduchu</i>	7
2.5	<i>Charakter povrchu a vegetace</i>	8
2.6	<i>Zdroje sekundární prašnosti</i>	9
2.7	<i>Význam sekundární prašnosti</i>	10
2.8	<i>Závěry pro další hodnocení</i>	11
3	Metodika hodnocení	11
3.1	<i>Přehled použitých vstupních dat</i>	12
3.2	<i>Vyhodnocení měřených koncentrací prašného aerosolu</i>	12
3.3	<i>Vyhodnocení prostorového rozložení sledovaných faktorů</i>	13
4	Výsledky hodnocení	15
4.1	<i>Vztah koncentrací PM_{10} a sledovaných faktorů</i>	15
4.2	<i>Význam rychlosti větru</i>	20
4.3	<i>Prostorové rozložení faktorů ovlivňujících sekundární prašnost</i>	21
5	Rizikovost výskytu sekundární prašnosti	23
6	Návrh základních opatření ke snižování rizik výskytu sekundární prašnosti	24
7	Literatura	25

1 Úvod

Výskyt širokého spektra drobných aerosolových částic v atmosféře má nepříznivý dopad na zvýšený výskyt respiračních chorob a nepříznivě ovlivňuje pocitovou stránku života v oblastech se zvýšenými koncentracemi prašnosti. Proto sledování zátěže území se zvýšenou prašností má značný význam zejména v městských aglomeracích s vyšší hustotou populace. Koncentrace polévatého prachu patří mezi prostorově nejvíce proměnné veličiny, a proto měřené hodnoty mají prostorově relativně velmi nízkou výpovědní schopnost. Úkolem této kapitoly je vyhodnotit závažnost výskytu tzv. sekundární prašnosti a navrhnout vhodná opatření pro její snižování.

Modelové výpočty mohou zohlednit prostorové rozložení pouze prachových částic, které jsou do ovzduší emitovány ze stacionárních a mobilních zdrojů (primární prašnost). V území však zcela lokálně dochází k opětovnému zvíření již dříve sedimentovaných částic (sekundární prašnost). Částice o rozměru nižším než 10 μm mohou v přízemní vrstvě atmosféry setrvávat řádově hodiny, částice o rozměru nižším než 1 μm i několik dní. Vlivy sekundární prašnosti není technicky možné do modelových výpočtů zahrnout, neboť není známa velikost emise, která navíc závisí na charakteru a stavu aktivního zemského povrchu a řadě zcela aktuálních meteorologických faktorů. Koncentrace polévatého prachu pak mohou být u takových zdrojů sekundární prašnosti podstatně vyšší, než udávají modely.

Přesné vyhodnocení této složky znečištění ovzduší je značně problematické, neboť míru působení jednotlivých zdrojů znečišťování, které se na sekundární prašnosti podílejí, nelze přesně určit. Ani v literatuře nelze nalézt odkaz na zcela rigorózní přístup, který by byl jednotně a objektivně aplikován na území o plošné rozloze řádu stovek km^2 , jako je hl.m.Praha. Proto byl v rámci tohoto projektu navržen a použit zjednodušený postup, založený na rozboru dlouhodobých řad koncentrací prašného aerosolu a následného zmapování celého území z hlediska možných rizik zvýšeného výskytu sekundární prašnosti.

Cílem kapitoly je zejména:

- charakterizovat hlavní faktory, které vznik a výskyt sekundární prašnosti ovlivňují
- ověřit navržený postup hodnocení výskytu sekundární prašnosti v městském ovzduší
- odhadnout podíl této složky na celkovém znečištění ovzduší prašným aerosolem
- na základě zjištěných poznatků a s využitím mapy bonity klimatu Prahy, ortofotomap území, prohlídky terénu a informací o rozmístění potenciálních zdrojů tuhých emisí vyhodnotit celé území Prahy z hlediska možného zvýšeného výskytu sekundární prašnosti, a to v pěti relativních kategoriích
- výsledky hodnocení využít k navržení základních, technicky a ekonomicky přijatelných opatření, které mohou vést ke snížení rizik výskytu sekundární prašnosti na území města

2 Prašný aerosol a sekundární prašnost

2.1 Prašný aerosol

Prašný aerosol zahrnuje široké spektrum chemicky a fyzikálně různorodých látek. Základní charakteristikou prašného aerosolu je jeho výskyt v podobě rozptýlených částic v tuhé nebo kapalné formě. Tyto částice se přitom mohou zásadním způsobem lišit svou velikostí, způsobem vzniku, chemickým složením, fyzikálními vlastnostmi, apod. [1]. Aerosolové částice emituje do ovzduší řada zdrojů přírodního i antropogenního původu. Mezi nejvýznamnější **přírodní zdroje** patří vulkanická činnost a uvolňování drobných částic zemského povrchu větrem. **Antropogenní zdroje** prašného aerosolu zahrnují zejména spalování fosilních paliv v energetických zdrojích, v dopravě, některé průmyslové technologické procesy, dále prach zvířený provozem motorových vozidel na pozemních komunikacích, při nakládání se sypkými materiály atd. V ovzduší se vyskytují aerosolové částice vzniklé též kondenzací plyných látek v atmosféře. V současné době je prašný aerosol považován za jednu z nejvýznamnějších znečišťujících příměsí v ovzduší evropských měst. S ohledem na zdravotní účinky je pozornost věnována zejména velikosti aerosolových částic a chemickému složení prašného aerosolu [2].

Velikost aerosolových částic v ovzduší se pohybuje v rozsahu několika řádů, od molekulárních shluků o průměru 0,005 μm a po hrubé prachové částice velikosti 100 μm [3, 4]. Velikostní složení částic zásadním způsobem ovlivňuje chování prašného aerosolu v atmosféře i jeho zdravotní účinky. Z tohoto důvodu se k charakterizaci výskytu prašného aerosolu ve vnějším ovzduší užívá řada termínů, které se váží k jednotlivým velikostním frakcím [5] Jedná se zejména o:

- celkový prašný aerosol (SPM/TSP), tj. celkové množství částic rozptýlených v ovzduší zahrnující všechny aerosolové částice bez rozlišení jejich velikosti
- thorakální frakce (PM_{10}) - částice pronikající do plic, frakce se střední hodnotou aerodynamického průměru 10 μm
- respirabilní frakce - částice charakterizované střední hodnotou aerodynamického průměru 4 μm
- jemné částice ($\text{PM}_{2,5}$) - částice o aerodynamickém průměru menším než 2,5 μm

V návrhu nové vyhlášky MŽP ČR [7] jsou frakce PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ definovány takto:

- suspendované částice - frakce PM_{10} jsou částice, které projdou velikostně-selektivním vstupním filtrem, vykazujícím pro aerodynamický průměr 10 μm odlučovací účinnost 50%
- jemné suspendované částice - frakce $\text{PM}_{2,5}$ jsou částice, které projdou velikostně-selektivním vstupním filtrem vykazujícím pro aerodynamický průměr 2,5 μm odlučovací účinnost 50%

Rozdělení velikostí částic atmosférických aerosolů v ovzduší města závisí na jejich zdroji a liší se i podle aktuálních meteorologických podmínek. **Zastoupení velikostních**

frakci se liší v závislosti na aktuálním podílu zdrojů, které přispívají k celkové koncentraci prašného aerosolu. Obecně je možné konstatovat, že:

- při spalování pevných paliv bez odlučovačů převažují v emisích částice s aerodynamickým průměrem nad 10 μm , při spalování kapalných paliv je zastoupení těchto částic menší, avšak rovněž významné; s účinností odlučovače se zastoupení „hrubších frakcí“ výrazně snižuje, neboť tato zařízení odstraňují nejúčinněji právě velké částice prachu
- ve zviřeném prachu v okolí silnic a průmyslových areálů lze obecně předpokládat nízké zastoupení jemných částic; podíl jednotlivých velikostních frakcí je závislý na složení usazených a následně zviřených částic,
- v emisích z výfuků motorových vozidel dominují jemné částice do 2,5 μm , přičemž většina částic je menších než 1 μm [7]
- rovněž naprostá většina aerosolů vzniklých kondenzací plynných látek v ovzduší je tvořena vesměs jemnými částicemi do 2,5 μm

Vzájemný **podíl jednotlivých zdrojů na imisní zátěži prašného aerosolu** je přitom ovlivněn nejen rozložením zdrojů v okolí dané lokality, ale bude se současně měnit i podle aktuálních meteorologických podmínek (směr větru od zdroje, výskyt inverzí apod.). Z tohoto důvodu se rozdělení velikostních frakcí prašného aerosolu v městském ovzduší značně liší i podle místa a času měření [8]. Velikost částic je jedním z faktorů, které určují jejich chování v atmosféře. Největší aerosolové částice rychle podléhají gravitační sedimentaci na zemský povrch a za obvyklých meteorologických podmínek se vyskytují jen v blízkosti svého zdroje. Doba setrvání těchto částic v ovzduší se pohybuje řádově v minutách až hodinách. Naproti tomu jemné částice mohou sedimentaci účinně odolávat. Pro tyto částice je podstatně účinnější mokrá depozice aerosolů, a to buď záchytem částic padajícími kapkami nebo při vzniku oblačnosti (kondenzační jádra). Doba setrvání jemných částic v ovzduší se pohybuje v řádech dnů až týdnů a částice mohou být přenášeny na velmi dlouhé vzdálenosti v řádu několika tisíc km.

Složení částic atmosférického aerosolu je značně nehomogenní. Částice mohou obsahovat několik set různých anorganických látek a řádově tisíce organických sloučenin. Jemné částice prašného aerosolu běžně obsahují následující hlavní složky: sulfáty, nitráty, kyselé a amonné ionty, elementární uhlík, organické sloučeniny, stopové složky těžkých kovů a vodu. Hrubší částice obvykle obsahují prvky minerálního a půdního původu (Si, Al, Fe, Ca, K) a dále biologické složky (bakterie, pyly, spory). Chemické složení prašného aerosolu výrazně závisí na jeho původu (obdobně jako u velikosti částic). Mezi hlavní složky prašného aerosolu patří

- prachové částice **minerálního původu** obsahující zejména oxidy křemíku, vápníku, hliníku a dalších kovů; jejich zastoupení závisí na geologických charakteristikách daného území a na charakteru průmyslové činnosti
- **sulfáty, nitráty a amonné ionty** vznikající vratnými nebo nevratnými chemickými procesy v atmosféře; částice se vyskytují téměř výhradně ve velikostní frakci do 2,5 μm
- **solí**, vyskytující se v okolí komunikací po používání posypových materiálů

- **organické aerosolové částice** produkované např. při spalování biomasy či fosilních paliv nebo z průmyslové výroby
- **saze** obsahující molekuly čistého uhlíku, na které mohou být sorbovány organické částice o velkých molekulárních hmotnostech (např. polyaromatické uhlovodíky vázané na sazích z diesellových motorů)

Z hlediska **zdravotních účinků** je téměř jedinou cestou expozice vdechování částic prašného aerosolu. Část vdechnutého aerosolu je opět vydechována, zbytek je zachycován na sliznici dýchacích cest. Zachycení těchto částic závisí na jejich aerodynamických parametrech a způsobu dýchání. Při normálním dýchání nosem je většina částic větších než 10 μm zachycována v oblasti nosohltanu, hlavní podíl částic o velikosti 5-10 μm je deponován v blízkosti dolních cest dýchacích a nejjemnější částice (okolo 1-2 μm) jsou deponovány v plicích [9]. Výskyt zvýšených koncentrací prašného aerosolu v ovzduší je obecně spojován především s výskytem respiračních chorob (kašel, bronchitida), snížením funkce plic, kardiovaskulárními nemocemi a v některých případech i astmatem. U dalších chorob (např. rakovina plic) je spojitost s imisní zátěží prašného aerosolu předmětem výzkumů, výsledky však nelze zatím považovat za prokazatelné. Přesné zhodnocení těchto specifických účinků se však považuje obecně za velmi obtížné, neboť zdravotní účinky aerosolů mají nejrozličnější projevy závislé především na jejich chemickém složení a na velikosti částic, jakožto určujícím faktoru jejich depozice v dýchací soustavě.

Bez ohledu na konkrétní specifické projevy je však za prokázaný považován nárůst nemocnosti a úmrtnosti při opakovaném výskytu vyšších koncentrací prašného aerosolu. Nárůst denní úmrtnosti populace je dle výsledků epidemiologických studií přímo úměrný hodnotám denních koncentrací PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$. Z grafu je rovněž patrná závislost nárůstu mortality na koncentracích $\text{PM}_{2,5}$ oproti frakci PM_{10} . Obdobné výsledky byly zaznamenány i u dalších obdobných parametrů, zejména v případě denní nemocnosti respiračních chorob a dětské úmrtnosti. Velmi významná je skutečnost, že nelze stanovit bezpečnou hranici, při které by dle současných vědeckých poznatků již nedocházelo k účinku na lidské zdraví.

2.2 Význam sekundární prašnosti

Sekundární prašnost představuje složku prašného aerosolu tvořenou tuhými částicemi, které jsou deponovány na zemském povrchu, následně zviřeny a znovu rozptýleny do ovzduší. K jejímu vzniku dochází zejména vlivem turbulentního proudění nad povrchem, na kterém jsou částice uloženy. Podle jejich původu je lze rozdělit do dvou skupin:

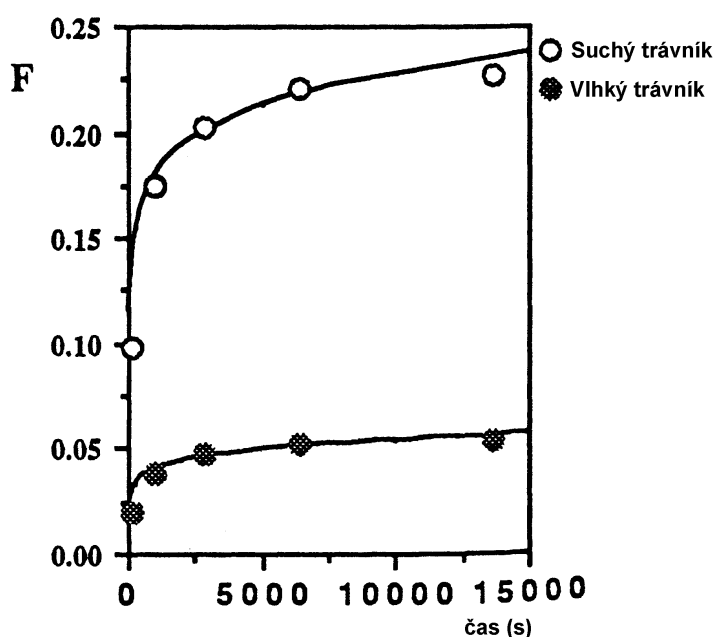
- částice emitované z antropogenních nebo přírodních zdrojů znečištění, které po přenosu atmosférou sedimentují na povrchu
- částice vzniklé erozí povrchového materiálu (např. půdní částice uvolněné působením větrné eroze či částečky vzniklé obrusem vozovky při kontaktu s koly automobilů)

Výskyt sekundární prašnosti ve venkovním prostředí ovlivňuje celá řada vzájemně provázaných faktorů. Jedná se zejména o **vlastnosti usazených částic** (množství částic, doba, která uplynula od depozice, velikostní složení a chemické vlastnosti), **meteorologické podmínky** (frekvence a intenzita srážek, rychlost větru, místní cirkulace větru apod.), **charakter aktivního zemského povrchu** (zastoupení pevných složek, skladba, struktura a

zrnitost půdy, výskyt a zastoupení druhů vegetace, vlhkost povrchu, výskyt sněhové pokrývky, způsob obhospodařování půdy apod.), **mechanické ovlivňování povrchové vrstvy** (pohyb vozidel na komunikacích, stavební, zemědělská činnost apod.).

2.3 Vlhkost povrchu

Vznik sekundární prašnosti je zcela zásadním způsobem ovlivněn vlhkostí povrchu, na kterém jsou částice deponovány [10]. S rostoucí vlhkostí dochází ke shlukování částic a výrazně klesají jejich předpoklady ke zvěření. Je-li zemský povrch mokrý, ke vzniku sekundární prašnosti vůbec nedochází. S postupným vysycháním povrchu se pravděpodobnost výskytu sekundární prašnosti výrazně zvyšuje. Množství prachu uvolněného do ovzduší je nepřímo úměrné počtu srážkových dní v roce. Obr.1 ukazuje rozdíl mezi množstvím větrem zvěřených částic z vlhkého a suchého povrchu [11].

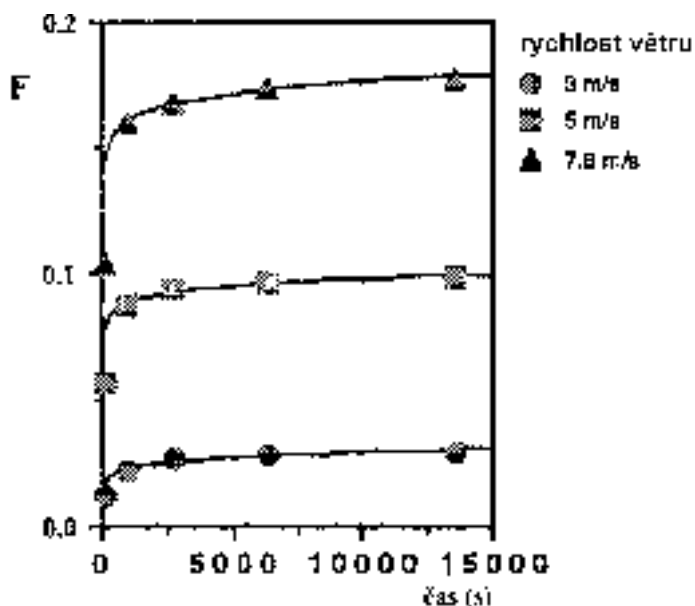


Obr. 1 Podíl částic zvěřených prouděním vzduchu nad travnatým povrchem o různé vlhkosti [11] (F – kumulativní vyjádření podílu zvěřených částic vůči částicím usazeným na povrchu)

2.4 Proudění vzduchu

Mezi nejvíce sledované faktory ovlivňující množství zvěřených prachových částic patří charakteristiky proudění vzduchu a zejména rychlost větru. Výsledky řady studií ukazují, že množství zvěřených prachových částic stoupá úměrně s nárůstem rychlosti proudění vzduchu nad povrchem (Obr. 2). Lze předpokládat, že existuje určitá mezní rychlost proudění, která je nutná k odpoutání částice od zemského povrchu. Stanovení její hodnoty je však značně problematické. V literatuře jsou uváděny hodnoty v rozpětí 1-12 m.s⁻¹, a to v závislosti na podmínkách, za kterých byly jednotlivé studie prováděna. Toto rozpětí ovšem pokrývá celé spektrum rychlostí, které se za běžných podmínek v atmosféře vyskytují. Hodnota mezní rychlosti proudění je logicky spojena s velikostí sledovaných částic a mění se rovněž v

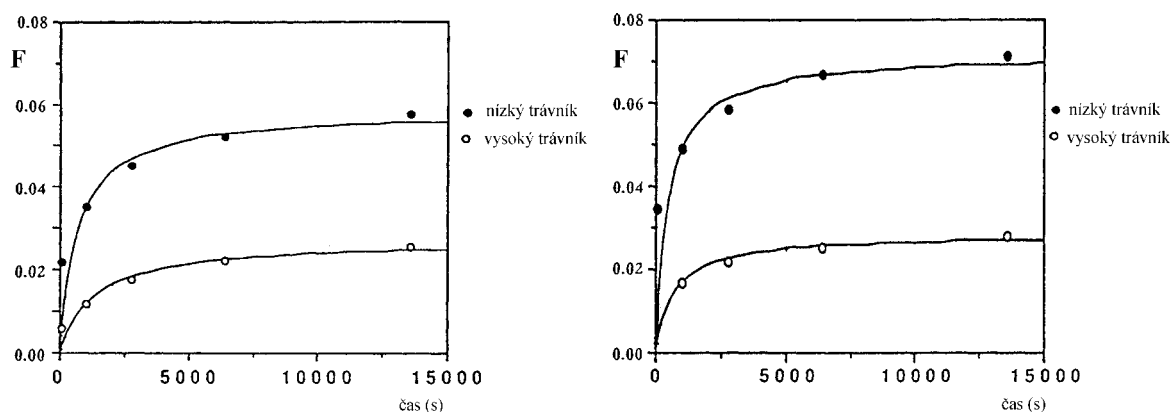
závislosti na aktuálních podmínkách (vlhkost, charakter povrchu atd.). Množství zvířených částic je rovněž ovlivněno tím, zda se jedná o ustálené proudění či zda dochází ke změnám rychlosti a směru větru. Míra zvíření částic např. při poryvech větru výrazně roste.



Obr. 2 Množství zvířených částí při různých rychlostech větru

2.5 Charakter povrchu a vegetace

Jelikož výskyt sekundární prašnosti závisí též na množství částic usazených na zemském povrchu, je logické, že v případě zpevněných povrchů bude náchylnost ke vzniku sekundární prašnosti výrazně nižší než u nezpevněných ploch. Množství zvířených částic je výrazně omezeno, je-li plocha pokryta vegetací. U povrchů pokrytých souvislým trávníkem závisí úroveň sekundární prašnosti na výšce travnatého porostu. Výsledky studií [12] ukazují, že u nízkého trávníku roste podíl částic uvolněných do ovzduší se stoupající rychlostí větru, zatímco u vyššího trávníku zůstává podíl zvířených částic na trvale nízké úrovni při všech rychlostech větru. Vegetační kryt ovšem nejen účinně omezuje zvíření částic, ale současně zachycuje prachové částice, které jsou v ovzduší již rozptýleny. Schopnost vegetace zachycovat prachové částice byla prokázána jak u stromů a keřů, tak i u travnatých porostů. Množství zachycených částic závisí zejména na druhu, hustotě a výšce porostu, na celkovém povrchu a pohyblivosti listové plochy a na dalších faktorech. Například koruna stromu zachytí 10-krát více prachových částic než plocha trávníku o stejném průmětu, souvislý protiprašný porost dřevin s vyvinutým okrajovým pláštěm může zachycovat až dvacetkrát více prachových částic než travnatá plocha (viz Obr. 3).



Obr. 3 Množství částic ($1 \mu\text{m}$) zvířených při proudění větru o rychlostech 5 m.s^{-1} a $7,8 \text{ m.s}^{-1}$ nad nízkým (10 cm) a vysokým (25 cm) trávníkem [12]

2.6 Zdroje sekundární prašnosti

V městském prostředí je možné za hlavní zdroje sekundární prašnosti považovat dopravu, výstavbu a manipulaci se sypkými materiály a působení větru na zemský povrch.

Automobilová doprava se na znečištění ovzduší prašným aerosolem podílí přímo emisemi sazí produkovaných při spalování pohonných látek, zvířením prachu uloženého na povrchu komunikací a uvolněním částic vzniklých obrusem pneumatik i povrchového materiálu vozovky. Sekundární prašnost, která vzniká při provozu automobilů, zahrnuje jak uložené a znovu zvířené částice ze spalování paliv v motorech aut, tak i částice vzniklé erozí povrchového materiálu a množství zvířených částic je přímo úměrné intenzitě dopravy, hmotnosti projíždějících vozidel, jejich rychlosti a vlhkosti povrchu [10].

Proces tvorby sekundární prašnosti je nejvíce zřetelný u nezpevněných komunikací. V měřítku hlavního města mají ovšem nezpevněné komunikace pouze malý význam, neboť naprostá většina dopravy se uskutečňuje po komunikacích zpevněných (relativní množství zvířených částic vzniklé na zpevněné komunikaci je podstatně nižší, a to o 2-4 řády oproti nezpevněným cestám. Množství zvířených prachových částic u zpevněných komunikací závisí na množství prachových částic uložených na povrchu vozovky zahrnující zejména částice deponované na povrch vozovky z atmosféry, prach přenesený vozidly z nezpevněných ploch nebo stavenišť, posypový materiál, částice půdního původu vzniklé erozí okolních ploch a částice vzniklé obrusem pneumatik i povrchového materiálu vozovky.

Výsledky řady studií ukazují, že sekundární prašnost vznikající na komunikacích může být hlavním zdrojem imisní zátěže prašného aerosolu v městském ovzduší. Například emisní studie pařížské aglomerace [13] uvádí, že množství částic PM_{10} , které se do ovzduší dostanou v důsledku zvíření částic je 3-7 x vyšší než přímé emise PM_{10} z výfuků automobilů. Obdobně [14] uvádí podíl sekundární prašnosti na celkových emisích z dopravy ve výši 84 %.

Stavební činnost představuje zdroj sekundární prašnosti s časově omezeným, avšak významným dopadem na kvalitu ovzduší v blízkém okolí. Svým dočasným charakterem se staveniště výrazně liší od jiných zdrojů sekundární prašnosti. Oproti jiným zdrojům je možné v případě výstavby definovat počátek a konec působení daného zdroje. Množství zvířených

prachových částic se v průběhu výstavby výrazně mění v závislosti na konkrétní činnosti a jejím rozsahu a výrazně kolísá během jednotlivých fází výstavby. Z tohoto hlediska je možné považovat výstavbu za sled samostatných činností, přičemž každá činnost zahrnující pohyb vozidel nebo strojů, nakládání se sypkým materiálem nebo broušení povrchů představuje samostatný zdroj sekundární prašnosti.

Množství prachu zvířeného při stavební činnosti je závislé především na rozsahu výstavby, a to jak ve smyslu plošném, tak i z hlediska intenzity činnosti (tj. např. množství odtěžené zeminy apod.). Výskyt a význam sekundární prašnosti roste s množstvím prachových částic deponovaných na terénu a s počtem, hmotností a rychlostí vozidel a strojů pohybujících se v prostoru staveniště; množství zvířeného prachu se naopak snižuje s rostoucí vlhkostí povrchu.

Vedle výše uvedených činností může rovněž docházet ke vzniku sekundární prašnosti vlivem proudění větru nad odkrytým povrchem a zejména haldami sypkých stavebních materiálů. Závažným zdrojem sekundární prašnosti je i nárůst počtu těžkých nákladních vozidel na navazujících komunikacích v průběhu výstavby. Automobily vyjíždějící ze staveniště navíc přenášejí prachové částice na okolní zpevněné komunikace, kde jsou tyto částice dále vířeny ostatními projíždějícími vozidly. Tento vliv se může projevat i v poměrně velké vzdálenosti od místa výstavby a z hlediska působení na okolní obyvatelstvo může být významnější než samotná činnost v prostoru staveniště.

Manipulace se sypkými materiály (výroba sypkých materiálů, jejich ukládání a skladování, úpravu, převážení a využívání) rovněž přispívá ke zvýšení sekundární prašnosti v ovzduší. Kromě výroby stavebních materiálů, povrchové těžby surovin, cementáren, lze do této kategorie zahrnout i skládky odpadů, haldy sypkých materiálů apod.. Z hlediska vnitřní struktury se většinou jedná o poměrně homogenní plochy, kdy ke vzniku prašnosti dochází při ukládání a převážení materiálu, ale i působením větru. Množství zvířených prachových částic závisí především na způsobu zpracování a granulometrickém složení zpracovávané suroviny.

2.7 Význam sekundární prašnosti

Význam sekundární prašnosti v celkové rámci imisní zátěže prašným aerosolem je dán nejen jejím podílem na celkových koncentracích SPM, ale především jejím zastoupením ve frakci PM₁₀ (popř. jemnějších) a chemickým složením.

Pro sekundární prašnost je obecně charakteristický výrazný podíl částic minerálního původu (s převahou sloučenin křemíku, hliníku a vápníku). Chemické složení konkrétního vzorku prachových částic závisí na původním zdroji, ze kterého jsou částice emitovány. Tato skutečnost je významná zejména u prachu zvířeného z povrchu komunikací, který obsahuje poměrně vysoký podíl uhlíkatých sazí a organických sloučenin, které se na tyto saze váží. Charakteristickým znakem sekundární prašnosti je rovněž vyšší podíl hrubší frakce (např. v porovnání s produkty spalování fosilních paliv) [15]. Naproti tomu např. u zvířeného prachu ze stavenišť bude podíl jemné frakce obvykle podstatně nižší [16]. Podíl sekundární prašnosti na celkových koncentracích PM₁₀ se poměrně značně liší v závislosti na charakteru dané lokality a mění se rovněž výrazně v průběhu roku.

2.8 Závěry pro další hodnocení

Na základě výše uvedených skutečností je možné konstatovat, že:

- prašný aerosol představuje v současné době jednu z nejvýznamnějších znečišťujících příměsí v ovzduší hlavního města Prahy
- lze předpokládat, že významná část imisní zátěže prašného aerosolu je způsobena sekundární prašností, tj. zvířením již usazených prachových částic
- množství sekundární prašnosti rychle klesá s vlhkostí povrchu
- rozložení úrovně sekundární prašnosti v území je v městském prostředí prostorově značně nehomogenní
- pravděpodobnost výskytu sekundární prašnosti i celkové množství zvířených částic se bude v jednotlivých lokalitách lišit v závislosti na četnosti srážkových dní a výskytu vyšších rychlostí větru v daném místě
- na základě dostupných podkladů o výsledky hodnocení mapově zpracovat
- hodnocení bude uživatele informovat „rizikovosti“ jednotlivých částí města z hlediska vyššího výskytu sekundární prašnosti (tzv. mapa sekundární prašnosti)
- v kombinaci s vyhodnocením měřených hodnot umožní mapa sekundární prašnosti odhadnout význam sekundární prašnosti v rámci celkové imisní zátěže prašného aerosolu na území města
- od mapy sekundární prašnosti nelze očekávat, že podá uživateli informace o zátěži sekundární prašnosti např. v měřítku jednotlivých ulic

3 Metodika hodnocení

Pro vyhodnocení výskytu sekundární prašnosti na území Prahy byl použit postup navržený a aplikovaný v průběhu řešení územní studie města Berouna [15]. Účelem postupu je vyhodnotit území města z hlediska náchylnosti k výskytu sekundární prašnosti a orientačně stanovit význam této složky v rámci celkové zátěže území prašným aerosolem. Ověření použitelnosti navrženého postupu bylo předmětem práce [17].

Použitá metoda vychází z kombinace dvou vzájemně provázaných postupů:

- vyhodnocení měřených hodnot koncentrací prašného aerosolu při různých podmínkách, které dle dostupných pramenů významně ovlivňují výskyt sekundární prašnosti; účelem hodnocení je porovnat celkový podíl sekundární prašnosti na imisní zátěži prašného aerosolu v dané lokalitě a zejména charakterizovat rozdíly mezi jednotlivými lokalitami, vzájemně odlišnými z hlediska možných faktorů působících na vznik sekundární prašnosti
- vyhodnocení prostorového rozložení faktorů ovlivňujících výskyt sekundární prašnosti na území města, rozčlenění města do jednotlivých ploch podle „rizikovosti“ území z hlediska možného vyššího výskytu sekundární prašnosti

3.1 Přehled použitých vstupních dat

Pro vyhodnocení výskytu sekundární prašnosti byly použity podklady, které pro zpracování uvedeného projektu poskytl Magistrát hl.m.Prahy a jeho organizace, a dále materiály organizací, které se na zpracování projektu podílejí:

- hodnoty 3-hodinových klouzavých průměrů koncentrací PM_{10} , naměřené na stanicích automatizovaného imisního monitoringu v období 1998-2000, získané z databáze PREMIS (Pražský ekologický monitorovací systém)
- hodnoty denních průměrů PM_{10} naměřené na stanici AIM Libuš (1998-2000)
- údaje o stavu půdy na stanicích Praha-Ruzyně, Kbely a Libuš (1998-2000)
- hodnoty průměrných denních rychlostí větru na stanici Libuš (1998-2000)
- digitální ortofotomapa Prahy (1999)
- tématická vrstva Územního plánu hl. m. Prahy - současný stav využití území (1999)
- digitální referenční mapa Prahy a digitální model terénu města (1999)
- soubor větrných růžic pro území Prahy zpracovaný v rámci projektu „Modelové hodnocení kvality ovzduší na území hl. m. Prahy“
- výsledky sčítání dopravy Ústavu dopravního inženýrství Praha (2000)
- digitální zakres vybrané komunikační sítě ÚDI Praha (2000)

Postup zpracování a vyhodnocení vstupních dat je uveden v následujících kapitolách.

3.2 Vyhodnocení měřených koncentrací prašného aerosolu

Za hlavního činitele ovlivňujícího výskyt sekundární prašnosti, je možné považovat **vlhkost povrchu**. Jako údaje o vlhkosti povrchu ve standardních termínech měření (7, 14 a 21 hod.) byly využity údaje o stavu půdy na klimatologických stanicích Ruzyně, Kbely a Libuš. Stavem půdy jsou v tomto případě míněny konsistenční vlastnosti půdy způsobené především povětrnostními vlivy [18]. Pro dané hodnocení mají význam pouze kategorie stavu půdy 0 (povrch suchý), 1 (vlhký) a 2 (mokrá). Vzhledem k tomu, že stanice AIM se nachází v odlišných lokalitách než uvedené klimatologické stanice, byly ze souboru dat vybrány pouze ty případy, u kterých se údaj o stavu půdy na všech třech stanicích shodoval. Vzhledem k rozložení uvedených klimatologických stanic je možné v takové chvíli předpokládat, že stav povrchu bude (v rámci zadaných kategorií) přibližně homogenní na celém území Prahy.

Takto získané údaje byly následně porovnávány s naměřenými hodnotami 3-hodinového klouzavého průměru **koncentrací PM_{10}** na jednotlivých stanicích AIM. Příslušné hodnoty koncentrací byly přiřazeny údajům o vlhkosti povrchu vždy tak, aby doba sledování stavu půdy ležela uprostřed intervalu, za který jsou koncentrace průměrovány. Tímto způsobem byly získány výběrové soubory vstupních dat obsahující vždy údaj o době sledování během dne, kategorii stavu půdy a hodnotách 3-hodinových koncentrací PM_{10} na každé stanici AIM (podrobněji v [17]). Celkem byly vyhodnoceny údaje z 11 měřicích stanic AIM na území Prahy. Hodnoceny byly základní statistické charakteristiky, popisující výskyt

měřených hodnot koncentrací PM_{10} při jednotlivých stavech vlhkosti půdy na každé stanici a charakteristiky vzájemné závislosti vlhkosti povrchu a koncentrace PM_{10} . Následně byly vzájemně porovnávány výsledky předešlého hodnocení u jednotlivých měřicích stanic AIM. Jako základní srovnávací parametr byly (s přihlédnutím k ostatním charakteristikám) zvoleny rozdíly v průměrných hodnotách koncentrace PM_{10} ve třech uvedených kategoriích vlhkosti povrchu. Účelem tohoto kroku je určit, jak se liší úroveň příspěvku sekundární prašnosti v různých lokalitách, a dále posoudit, zda je možné určité stanice (ležící v obdobných lokalitách) sdružit do skupin s obdobnou výší podílu sekundární prašnosti. Navazujícím krokem je vyhodnocení tohoto podílu v takto vytvořených skupinách, jako podkladu pro zhodnocení významu sekundární prašnosti v určitých typech lokalit na území města.

Dalším meteorologickým prvkem, u kterého lze předpokládat významný vliv na vznik a výskyt sekundární prašnosti, je **rychlost větru**. Vzhledem k tomu, že rozložení rychlostí větru je na území města velice nerovnoměrné [19], není možné v tomto případě vztáhnout měřené hodnoty rychlostí větru obecně k hodnotám koncentrací PM_{10} na různých měřicích stanicích, ale je nutno porovnávat hodnoty zjištěné ve stejném místě. V Praze je měřena rychlost větru i koncentrace PM_{10} pouze na jediné stanici, a to na Libuši. V rámci hodnocení byly porovnávány hodnoty průměrných denních rychlostí větru na této stanici s průměrnou denní koncentrací PM_{10} na stanici AIM. Účelem hodnocení bylo ověřit, zda denní koncentrace PM_{10} roste se stoupající rychlostí větru. Ze souboru dat byly vybrány dny, kdy byl v Libuši po celý den zaznamenán povrch suchý (tj. je splněn základní předpoklad k výskytu sekundární prašnosti).

3.3 Vyhodnocení prostorového rozložení sledovaných faktorů

Z vyhodnocení faktorů působících na vznik sekundární prašnosti v jednotlivých částech města vyplynuly následující hlavní závěry (podrobněji v [17]).

Z hlediska **srážkových poměrů** (a následně i **vlhkosti povrchu**) je pro výskyt sekundární prašnosti rozhodujícím faktorem četnost dnů s výskytem srážek. Prostorové rozložení pole srážkových dnů by bylo možno získat pomocí analýzy dat ze srážkoměrných stanic, nicméně taková analýza by svým rozsahem výrazně překročila rámec této studie. Jelikož rozložení srážek je obecně dáno především orografickými poměry, je tedy možné předpokládat, že toto rozložení zůstává v rámci města dlouhodobě přibližně homogenní. S ohledem na tuto skutečnost byly použity výsledky [20], které dokazují, že v měřítku odpovídajícímu území Prahy nelze nalézt významné rozdíly mezi jednotlivými lokalitami.

Pro vyhodnocení charakteristik **rychlosti větru** byly využity větrné růžice, které byly zpracovány pro území Prahy modelem PIABLM v rámci projektu „Modelové hodnocení kvality ovzduší na území Prahy“ [19] pro tři třídy rychlosti větru: $0-2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $2,5-7,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (horní interval je uzavřený) a nad $7,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Na základě výše uvedených poznatků z literatury bylo předpokládáno, že na vzniku sekundární prašnosti se v jednotlivých lokalitách rozhodujícím způsobem podílí rychlost větru nad $7,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Jedním z rozhodujících faktorů, působících na vznik sekundární prašnosti v dané lokalitě, je **charakter aktivního zemského povrchu a způsob jeho využití** (resp. činnost, která je na daném místě vyvíjena). Oba faktory spolu velmi úzce souvisí, a proto jsou posuzovány společně jako tzv. **typ lokality**. Jednotlivé typy lokalit jsou určeny např.

výskytem vegetace a jejím charakterem, výskytem a charakterem významných zdrojů sekundární prašnosti, způsobem využívání atd.. Na základě podkladů uvedených v odst.2 této kapitoly a vyhodnocení měřených hodnot koncentrací PM₁₀ byly jednotlivé typy lokalit rozděleny do pěti kategorií podle stupně rizikovosti možného vzniku sekundární prašnosti (Tab. 13-1).

Tab. 13-1 Členění území do kategorií podle rizikovosti výskytu sekundární prašnosti

Kategorie	Typ lokality
1	souvislé plochy vzrostlé zeleně (parky, lesy), vodní plochy
2	zastavěné plochy s vysokým podílem vzrostlé zeleně (např. vilová zástavba, chatové osady), louky a pastviny
3	zastavěné plochy s nižším podílem vzrostlé zeleně (např. bytové domy v centru města), železniční komplexy (nádraží, seřadiště), pole
4	nezpevněné plochy s malým podílem zeleně nebo bez vegetace, otevřené zpevněné plochy bez vegetace (velká parkoviště, průmyslové areály apod.), letiště
5	haldy sypkých materiálů, skládky odpadů, lomy, průmyslové areály se skládkou sypkých materiálů, staveniště

Pozn. V plošném hodnocení typů lokalit nejsou zahrnuty automobilové komunikace, které jsou posuzovány samostatně na základě výpočtu množství zviřených prachových částic (viz odst.3.3 této kapitoly).

Kategorie 1 zahrnuje lokality, u kterých je pravděpodobnost vzniku sekundární prašnosti zcela minimální nebo žádná. Do **kategorie 2** jsou zařazeny jednak typy lokalit, u kterých lze předpokládat pouze nízkou náchylnost ke vzniku sekundární prašnosti (např. louky), a dále ty části území, kde je možné vznik sekundární prašnosti očekávat, avšak tato prašnost bude pravděpodobně účinně omezována vzrostlou vegetací (např. vilová zástavba). Do **kategorie 3** jsou zahrnuty zejména zastavěné plochy s malým podílem vzrostlé vegetace. Na těchto plochách již lze předpokládat poměrně významný podíl sekundární prašnosti v rámci celkové imisní zátěže prašného aerosolu, avšak nevyskytují se zde významné specifické zdroje sekundární prašnosti. Do této kategorie jsou zařazeny i zemědělské plochy, u kterých lze očekávat mimo vegetační období zvýšený podíl sekundární prašnosti. **Kategorie 4** zahrnuje takové typy lokalit, u kterých lze předpokládat trvale zvýšenou náchylnost ke vzniku sekundární prašnosti. **Kategorie 5** zahrnuje nejvýznamnější zdroje sekundární prašnosti na území města.

S využitím ortofotomap území (a s pomocí dalších digitálních i analogových mapových podkladů) a místního šetření, bylo následně provedeno rozčlenění celého území města do pěti uvedených kategorií. Výsledky hodnocení jsou mapově zpracovány v geografickém informačním systému ArcView GIS 3.1.

Nezanedbatelným zdrojem sekundární prašnosti je **automobilová doprava** (viz odst.2.6 této kapitoly). Množství prachu zviřeného automobily roste úměrně počtu projíždějících vozidel, a proto není možné zařadit automobilové komunikace souhrnně do některé z výše uvedených kategorií. Z tohoto důvodu byla doprava vyhodnocena odlišným způsobem, a to pomocí výpočtu množství zviřených částic PM₁₀ z jednoho km komunikace na základě metodiky US EPA ([21]). Potřebné údaje byly převzaty ze sčítání intenzit dopravy, prováděného ÚDI Praha na vybrané komunikační síti za rok 2000 [22] resp. průběžné

výsledky projektu „Program zjištění dynamické skladby vozového parku na silniční síti ČR“, který v současné době zpracovává ATEM [23]. Podrobnosti k použité metodice lze nalézt v [17]. Vypočtené hodnoty emisí PM_{10} (v $kg \cdot km^{-1} \cdot den^{-1}$) jako zvířených částic z jednotlivých zpevněných komunikací v Praze jsou součástí výsledného mapového zpracování jako samostatná vrstva GIS. Podrobnosti k použité metodice lze nalézt v [17].

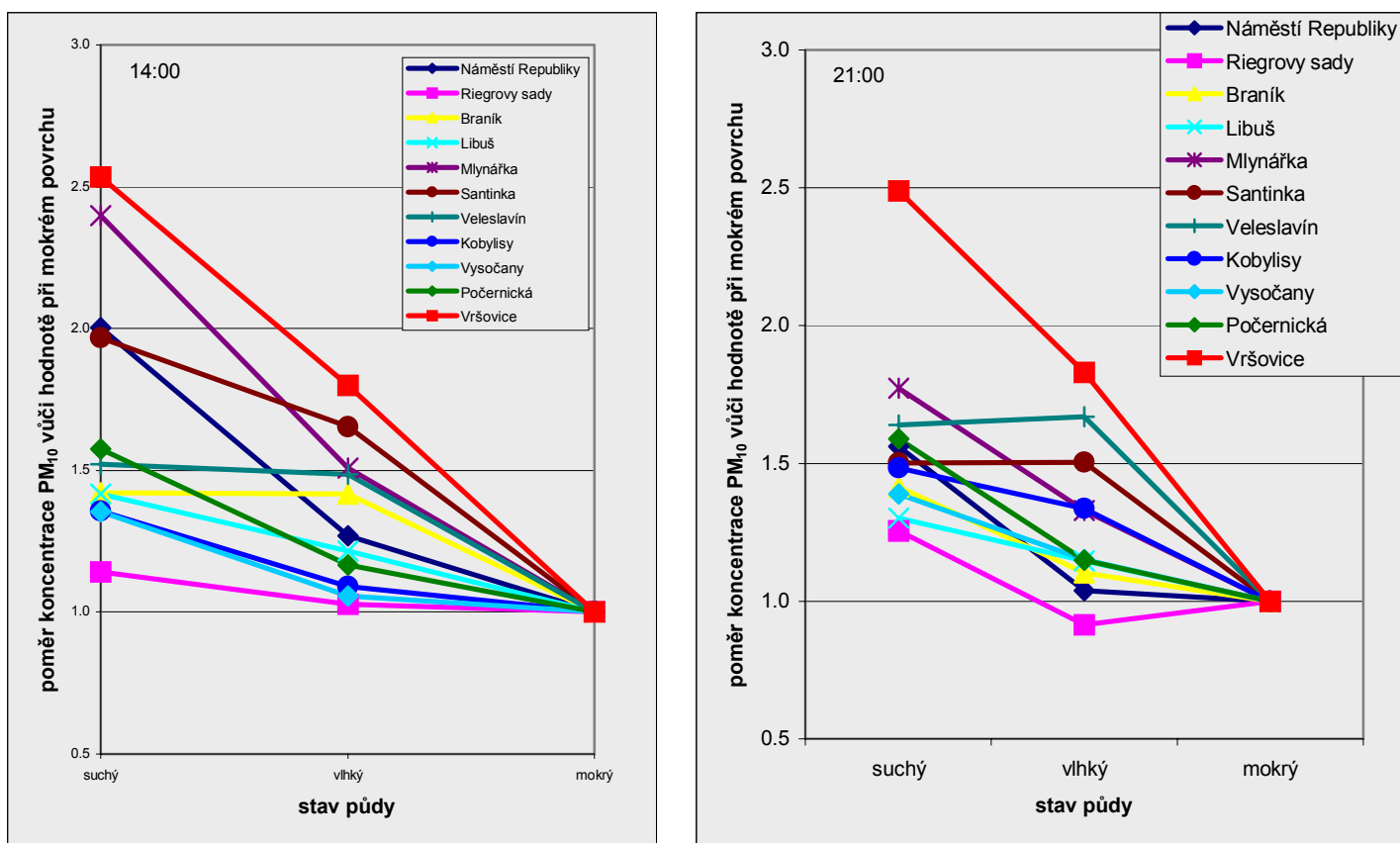
4 Výsledky hodnocení

4.1 Vztah koncentrací PM_{10} a sledovaných faktorů

Základní charakteristiky všech zpracovaných výběrů dat jsou podrobně uvedeny [17]. Z výsledků zpracování je patrné, že:

- všechny výběry se vyznačují poměrně velkým rozptylem, a to bez ohledu na stav půdy; nelze tudíž konstatovat, že se s určitou hodnotou stavu půdy rozptyl hodnot koncentrací PM_{10} snižuje
- přes poměrně velký rozptyl je zcela zřejmé, že se průměr i medián koncentrací PM_{10} v naprosté většině případů s rostoucí vlhkostí půdy snižují
- četnost případů, kdy byl ve sledovaném období zaznamenán stav půdy 0 (suchý) nebo 1 (vlhký) výrazně převyšuje četnost případů se stavem půdy 2 (mokrý); tuto skutečnost je třeba brát při interpretaci výsledků hodnocení v úvahu
- je možné potvrdit předpoklad rozdílných koncentrací PM_{10} naměřených při různých stavech vlhkosti povrchu; naměřené koncentrace s rostoucí vlhkostí povrchu obecně klesají
- lze učinit rovněž předběžný závěr, že hodnoty koncentrací PM_{10} jsou v ranních hodinách (termín 7 hod) významněji ovlivněny jinými faktory, než je vlhkost povrchu; tyto faktory je však velmi obtížné přesně určit a může se jednat např. o větší odchylky v produkci emisí PM_{10} u „primárních“ zdrojů emisí jako důsledek lokálního vytápění nebo intenzivnější dopravou v době špiček

Z tohoto důvodu byly dále analyzovány pouze výsledky zaznamenané pro termíny 14 a 21 hod.



Obr. 4 Poměr průměrných hodnot koncentrací PM₁₀ při stavech půdy 0 (suchý) a 1 (vlhký) vůči koncentracím při stavu 2 (mokřý) pro termíny 14 a 21 hod.

Přehledné porovnání jednotlivých stanic je zřejmé z Obr. 4, na kterém znázorněn poměr průměrných hodnot koncentrací PM₁₀ při stavech půdy 0 - suchý a 1 - vlhký vůči koncentracím při stavu 2 - mokřý. Porovnání naznačuje, že v rámci hodnocených stanic AIM (resp. lokalit, ve kterých se stanice AIM nacházejí), je možné zaznamenat tři skupiny stanic, které se vzájemně liší podílem sekundární prašnosti na koncentracích PM₁₀ (Tab. 13-2).

Tab. 13-2 Rozdělení stanic do skupin podle podílu sekundární prašnosti

		poměr koncentrací při suchém a mokřém povrchu	
		14 hodin	21 hodin
skupina A	Náměstí Republiky, Santinka, Mlynářka, Vršovice	2,0 – 2,5	jen Mlynářka (1,8), Vršovice (2,5)
skupina B	Vysočany, Kobylisy, Braník	1,4	1,4 – 1,5
skupina C	Riegerovy sady	1,1	1,3

Pro lokality skupiny A je typický výskyt následujících faktorů: bezprostřední blízkost silně dopravně zatížené komunikace (všechny lokality s výjimkou Náměstí republiky) a nízké

zastoupení vegetace (Náměstí republiky). Nejvyšší poměr průměrných hodnot koncentrací PM_{10} při stavech půdy 0 (suchý) a 2 (mokrý) je možné zaznamenat u stanice Vršovice, kde dosahuje 2,5 : 1 (tj. podíl sekundární prašnosti by dle tohoto výsledku představoval cca 60 % imisní zátěže PM_{10}). Tato stanice je pro hodnocení významná tím, že se v její blízkosti po část sledovaného období nacházelo staveniště (výstavba čerpací stanice pohonných hmot), jakožto významný zdroj sekundární prašnosti. Stanice se současně nachází v blízkosti dopravně významně zatížené komunikace. U ostatních stanic je tento poměr nižší, v případě stanic Náměstí Republiky a Santínka se na této úrovni projevuje pouze u hodnot pro termín 14 hod.

Do **skupiny B** jsou zařazeny lokality, u kterých poměr koncentrací při „mokrém“ a „suchém“ stavu povrchu dosahuje cca 1,4 : 1. Tři stanice, zařazené do této skupiny, vyjadřují tři různé typy lokalit. Stanice Kobylisy je umístěna na trávníku a ve větší vzdálenosti od významných zdrojů sekundární prašnosti¹. Stanice Braník a Vysočany leží poměrně blízko dopravně zatížených komunikací, od kterých však jsou chráněny parkem se vzrostlou vegetací. Nízký podíl sekundární prašnosti je přesto poměrně překvapivý zvláště u stanice Vysočany. V tomto případě je možné předpokládat, že na nízkých hodnotách se podílí rovněž nízké rychlosti větru (dle výsledků modelu PIABLM je zde průměrná rychlost $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a četnost rychlostí nad $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pouze 1,5 % v roce, což jsou v rámci Prahy výrazně podprůměrné hodnoty).

Ve skupině C je zařazena pouze stanice Riegerovy sady (částečně by bylo možné do této skupiny zařadit i stanici Libuš). Průměr koncentrací PM_{10} zjištěný při „suchém povrchu“ je oproti mokrému povrchu vyšší 1,1-1,3-krát. Jedná se o stanici umístěnou v parku, s velkým zastoupením vzrostlé vegetace v širším okolí a v poměrně velké vzdálenosti od hlavních zdrojů sekundární prašnosti. Celkově je možné předpokládat, že v lokalitě tohoto typu se bude sekundární prašnost vyskytovat pouze minimálně.

Typické polohy měřicích stanic pro skupiny A, B a C jsou znázorněny na Obr. 5.

¹ V současné době se v bezprostřední blízkosti stanice Kobylisy nachází staveniště, v období 1998 – 2000 (za které jsou zpracovávány hodnoty) se zde však nacházel trávník.



Skupina A - Náměstí Republiky

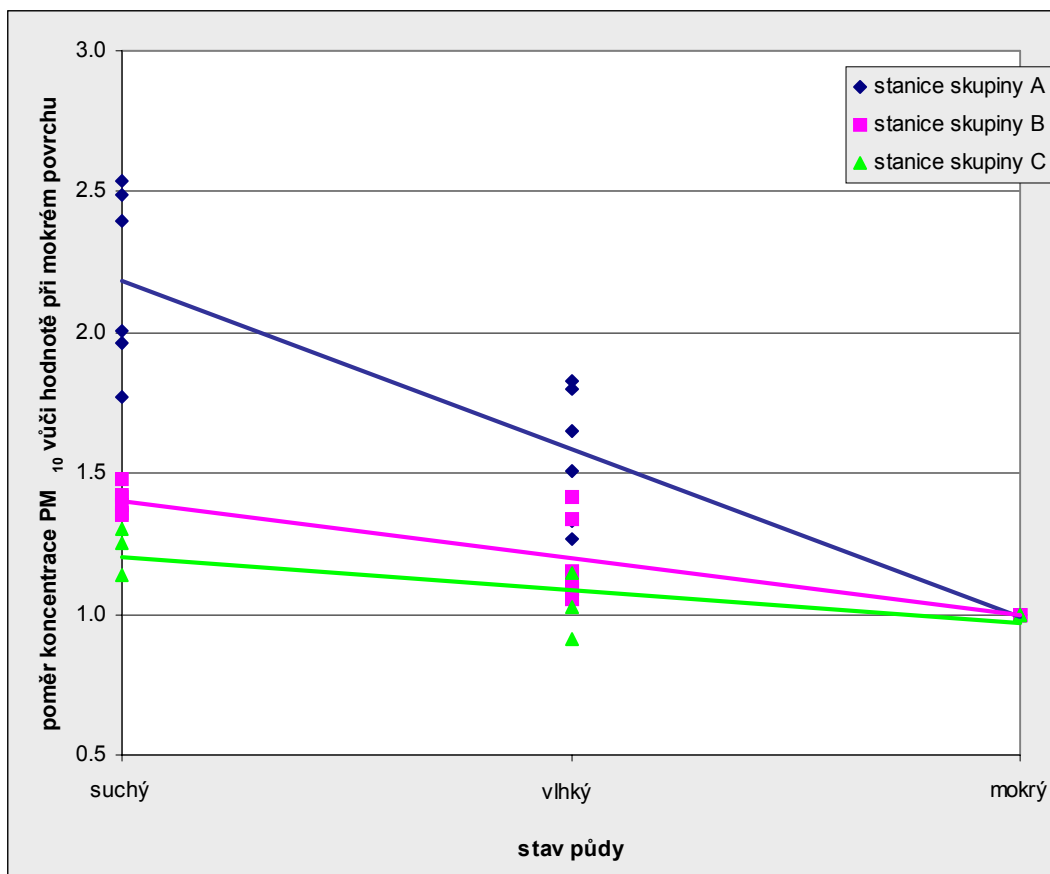


Skupina B - Kobylisy



Skupina C - Riegerovy sady

Obr. 5 Pohled na okolí měřících stanic



Obr. 6 Změna koncentrace PM₁₀ s vlhkostí povrchu u jednotlivých skupin stanic

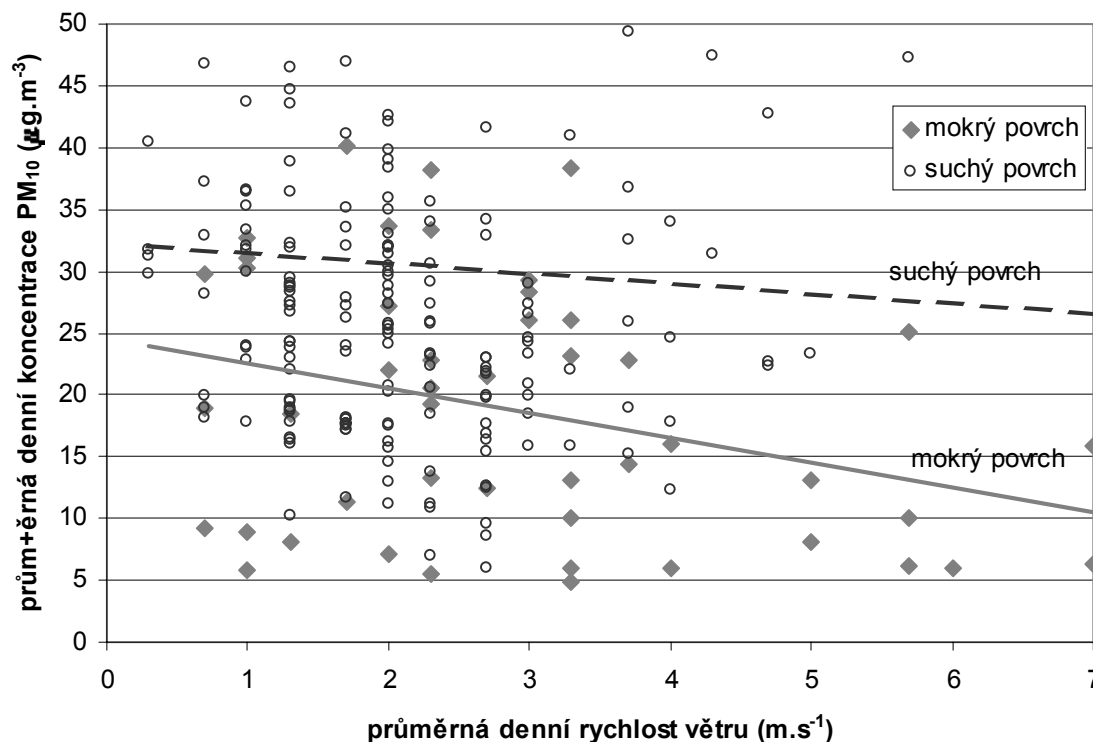
Výše uvedené seskupení stanic dobře ilustruje Obr. 6. Rizikovost výskytu sekundární prašnosti v jednotlivých lokalitách je vyjádřena pomocí regresní přímky; čím je tato přímka strmější, tím vyšší imisní příspěvek sekundární prašnosti je možné na lokalitách daného typu v suchých dnech očekávat. Je si však třeba uvědomit, že uvedené vyšší hodnoty koncentrací měřených při suchém stavu povrchu oproti povrchu mokřému nejsou způsobeny pouze vlivem sekundární prašnosti. Po ukončení srážkového období je zemský povrch mokřý i po určité době po dešti v závislosti na délce a intenzitě srážkového období.

Zjištěné poznatky ukazují, že za předpokladu, že je aktivní zemský povrch suchý, pak

- v lokalitách s vysokým podílem vzrostlé vegetace a ve větší vzdálenosti od hlavních zdrojů sekundární prašnosti bude podíl sekundární prašnosti na celkové imisní zátěži PM₁₀ minimální (0-10%)
- v lokalitách, které se nachází ve větší vzdálenosti od hlavních zdrojů sekundární prašnosti (zejména komunikací, stavenišť apod.) a v oblastech s vyšším podílem zeleně lze očekávat, že sekundární prašnost na koncentracích PM₁₀ podílí přibližně 20-30%
- v bezprostřední blízkosti komunikací nebo v lokalitách zcela bez vegetace se sekundární prašnost podílí na znečištění ovzduší PM₁₀ cca ze 40-50%
- v blízkosti významných zdrojů sekundární prašnosti bude sekundární prašnost tvořit přibližně 50% imisní zátěže PM₁₀ a v bezprostřední blízkosti těchto zdrojů bude tento podíl ještě výrazně vyšší

4.2 Význam rychlosti větru

Vyhodnocení závislosti denních koncentrací PM_{10} na průměrné denní rychlosti větru nepotvrzuje předpoklad, že úroveň imisní zátěže PM_{10} roste se stoupající rychlostí větru v důsledku vyššího příspěvku sekundární prašnosti. Porovnání bylo provedeno pro stanici Libuš, která je jediným místem v Praze, kde jsou obě veličiny současně měřeny a navíc se tato stanice vyznačuje spíše vyššími hodnotami rychlosti větru (viz Obr. 7).



Obr. 7 Porovnání denních hodnot PM_{10} a rychlosti větru při suchém a mokřém povrchu – stanice AIM Libuš

Vzhledem k tomu, že výsledky řady studií (i obecná znalost fyzikálních mechanismů zviření částic) jednoznačně potvrzují nárůst množství zviřených částic s rostoucí rychlostí větru, je nutno hledat jiné vysvětlení. Jako velmi pravděpodobný důvod se jeví skutečnost, že vyšší rychlost větru je téměř vždy spojena s lepšími podmínkami pro rozptyl znečišťujících příměsí, včetně PM_{10} . To znamená, že při vyšší rychlosti větru je možné předpokládat dva proti sobě působící jevy:

- v důsledku proudění nad zemským povrchem dochází ke zviření usazených prachových částic (sekundární prašnost), což působí na nárůst koncentrací PM_{10} v ovzduší
- díky příznivějším rozptylovým podmínkám jsou aerosolové částice (bez ohledu na jejich původ, tj. „primární“ i sekundární) účinněji rozptylovány do vyšších hladin, což působí naopak pokles koncentrací PM_{10}

Platí-li tento předpoklad, potom lze očekávat, že v době, kdy se sekundární prašnost nevyskytuje (při mokřím povrchu), budou koncentrace PM_{10} klesat s rostoucí rychlostí větru podstatně rychleji.

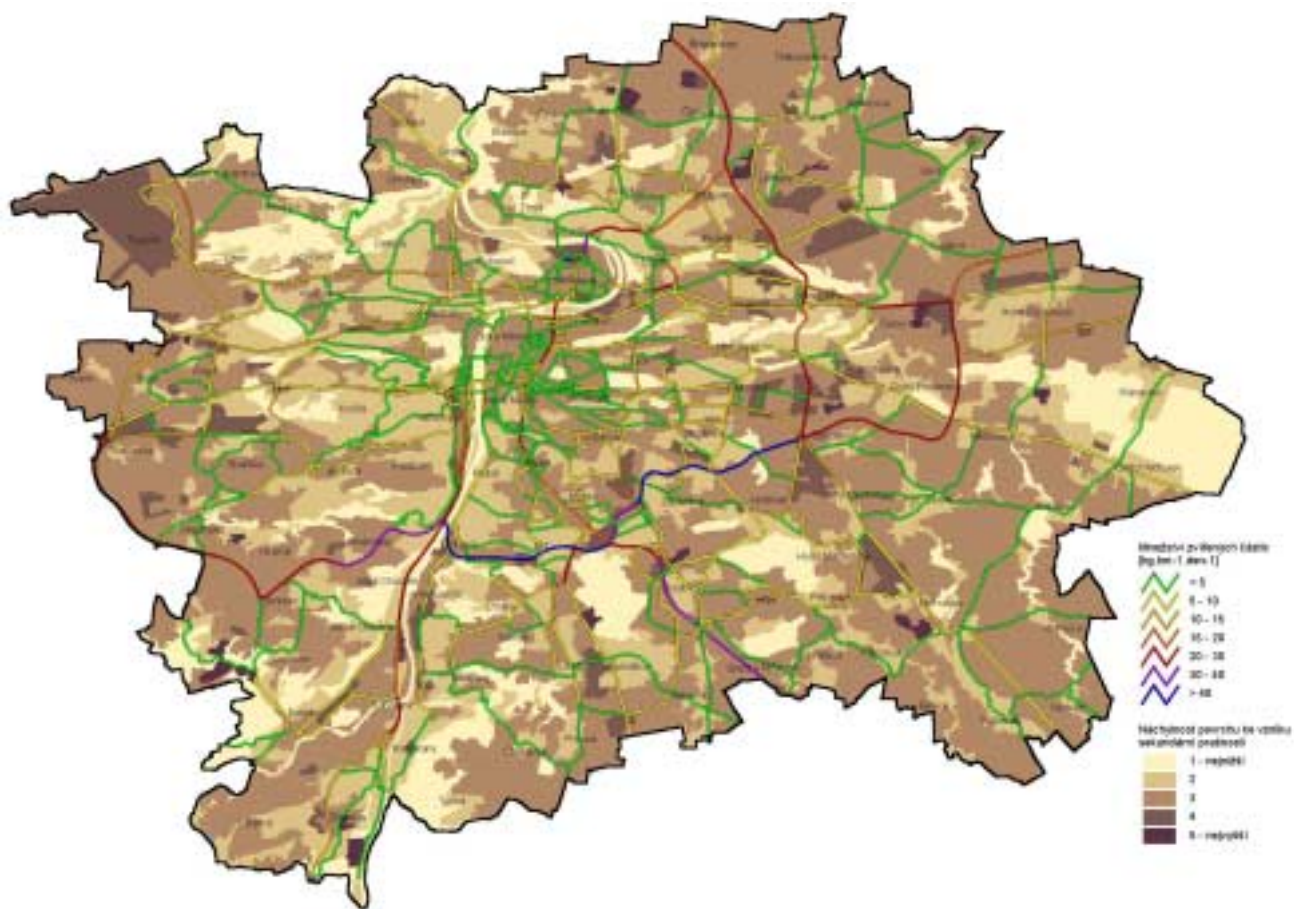
4.3 Prostorové rozložení faktorů ovlivňujících sekundární prašnost

Průměrná roční rychlost větru se dle modelu PIABLM se na území Prahy pohybuje v rozpětí $1,5$ až $6,7 \text{ m.s}^{-1}$. Průměrná hodnota roční rychlosti větru za celé území Prahy je $3,8 \text{ m.s}^{-1}$. Nejvyšší hodnoty lze očekávat v prostoru Ďáblického háje v severní části města, hodnoty průměrné rychlosti větru nad $6,0 \text{ m.s}^{-1}$ se vyskytují rovněž ve vyšších polohách na západě Prahy (Řeporyje, Slivenec, Stodůlky, Holyně). Vysoké průměrné rychlosti větru (nad 5 m.s^{-1}) se obecně vyskytují ve zvýšených polohách, a to zejména na severozápadním okraji města (od Proseka přes Letňany, Kbely po Čakovice, Satalice a Vinoř), na severozápadě (Ruzyně, Nebušice), na pahorcích nad údolím Vltavy (Vyšehrad, Dívčí Hrady, Strahov) a v dalších lokalitách (Pankrác, Na Krejčárku, Flora, Horní Měcholupy, Chodov a další).

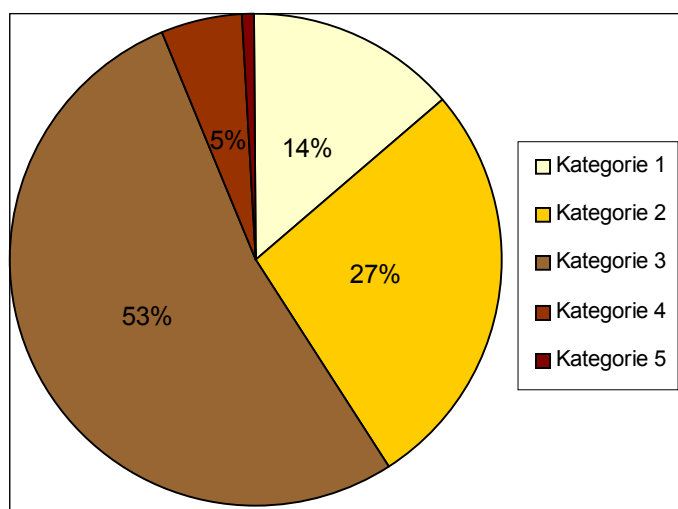
Naproti tomu nejnižší průměrné rychlosti větru lze obecně očekávat v uzavřených údolích menších vodních toků (Radotínský potok – $1,5 \text{ m.s}^{-1}$, Šárecký p. – $2,0 \text{ m.s}^{-1}$). Rychlosti pod $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ se vyskytují např. podél Dalejského, Kunratického, Libušského a Komořanského potoka, v údolích Rokytky ve Vysočanech, Botiče ve Vršovicích a v dalších údolních polohách (Smíchov atd.). V údolí Vltavy se obvyklé rychlosti větru pohybují v rozpětí $2,5$ – $3,0 \text{ m.s}^{-1}$.

Rozložení četnosti vysokých rychlostí větru nad $7,5 \text{ m.s}^{-1}$ na území města má velice podobný tvar jako průměrná roční rychlost větru. V lokalitách, kde lze předpokládat nejvyšší průměrné rychlosti, lze očekávat největší výskyt vysokých rychlostí (Ďáblický háj více než 40 %, Slivenec, Řeporyje, Stodůlky, Holyně, Dívčí Hrady, Ruzyně přes 30 %). Četnost rychlostí vyšších než $7,5 \text{ m.s}^{-1}$ nepřevyšuje na naprosté většině území Prahy 15% roční doby. S ohledem na tuto skutečnost, a především proto, že ke vzniku sekundární prašnosti dochází i při nižších rychlostech větru, se jeví jako vhodnější ukazatel pro popis rozložení rychlostí větru průměrná roční rychlost.

Výsledkem vyhodnocení území Prahy z hlediska rizikovosti území ke vzniku sekundární prašnosti na základě jednotlivých typů lokalit (zahrnujících **charakter aktivního zemského povrchu, výskyt vegetace a charakter činnosti na daném území**) je tématická vrstva GIS, která informuje o nejrizikovějších oblastech v Praze z hlediska výskytu sekundární prašnosti (Příloha 1). Převážná část území Prahy byla zařazena do kategorií 2 a 3 (viz Obr. 8 a Obr. 9).



Obr. 8 Kategorie možného výskytu sekundární prašnosti z dopravy



Obr. 9 Zastoupení kategorií možného výskytu sekundární prašnosti v Praze

Tyto kategorie jsou typické pro běžnou městskou zástavbu i pro většinu extravilánových ploch. Prakticky celé centrum města je zařazeno převážně do kategorie 3. Ve větší vzdálenosti převažují v zástavbě plochy zařazené do kategorie 2, tj. s vyšším zastoupením vzrostlé zeleně. Zastoupení kategorie 1 je v Praze poměrně značné (cca 14%), nicméně jejich rozložení v území je však značně nerovnoměrné. Výrazněji jsou tyto typy ploch zastoupeny v jižní části města (Kunratice, Modřany, Zbraslav, Lochkov, Velký Háj), na severu (Šárka, Lysolaje, Suchdol, Draháň, Troja) a na nejvýchodnějším okraji Prahy (Újezd nad Lesy, Klánovice, Koloděje). Naproti tomu velmi nízké je zastoupení této kategorie ploch v centru města a jeho okolí, v celé severozápadní části (od Malešic přes Vysočany až po Letňany, Kbely a Čakovice) a na západě (Řepy, Řeporyje, Stodůlky).

Plochy zařazené do kategorií 4 a 5 se s různou mírou četnosti vyskytují na celém území Prahy. Vyšší výskyt těchto ploch je možné zaznamenat např. východně a severovýchodně od centra (Malešice, Vysočany, Šterboholy, Černý most, Kbely). Podrobné informace o vymezení jednotlivých ploch a charakteru území podává Příloha 1.

Z porovnání vypočtených hodnot **množství zviřených částic z automobilové dopravy** lze očekávat největší výskyt sekundární prašnosti v okolí nejvíce zatížených kapacitních komunikací. Vypočtené množství zviřených částic PM₁₀ dosahuje na Jižní spojnici téměř 60 kg na jeden km silničního úseku denně, v okolí ostatních nejvýznamnějších komunikací (Barrandovský most a ulice K Barrandovu, Brněnská, ul. 5. Května, Wilsonova, Argentinská, V Holešovičkách, Průmyslová, Šterboholská spojka, Východní spojka, Cínovecká a další) se pohybuje v rozpětí 20-40 kg.km⁻¹den⁻¹. Na silně dopravně zatížených úsecích, které procházejí kompaktní obytnou zástavbou (např. ulice Vršovická v prostoru stanice AIM) byly vypočteny hodnoty cca 5-15 kg.km⁻¹, což znamená, že např. v okolí magistrály v centru města je množství zviřených částic PM₁₀ přibližně dvoj- až trojnásobné (15-30 kg.km⁻¹den⁻¹).

5 Rizikovost výskytu sekundární prašnosti

Na základě provedené analýzy datového materiálu a zejména podkladů [17] a [24] lze učinit následující závěry:

- na plochách, zařazených do **kategorie 1**, lze předpokládat pouze zcela minimální náchylnost ke vzniku sekundární prašnosti
- na plochách, zařazených do **kategorie 2** se může podíl sekundární prašnosti na celkové imisní zátěži PM₁₀ v dlouhodobém průměru pohybovat přibližně okolo 20 %
- v případě ploch **kategorie 3** je možné dlouhodobě očekávat podíl sekundární prašnosti na imisní zátěži PM₁₀ přibližně 30-40 %
- plochy, které byly v předchozím hodnocení zařazeny do **kategorie 4**, se budou pravděpodobně vyznačovat podílem sekundární prašnosti ve výši okolo 50% celkové imisní zátěže v dlouhodobém průměru
- v případě ploch **kategorie 5** není možné podíl sekundární prašnosti na imisním zatížení přesně určit; vzhledem k tomu, že tato kategorie v podstatě ohraničuje nejvýznamnější zdroje sekundární prašnosti, lze předpokládat, že podíl může výrazně přesahovat 50% celkové imisní zátěže PM₁₀

- v bezprostřední blízkosti **komunikací** bude podíl sekundární prašnosti zásadně ovlivněn množstvím prachových částic zviřených automobilovou dopravou, a to v závislosti na počtu projíždějících vozidel; v okolí významně dopravně zatížených uličních úseků lze předpokládat podíl sekundární prašnosti v dlouhodobém průměru přibližně na úrovni 40-50 % celkové imisní zátěže PM₁₀ a podél nejvíce zatížených kapacitních komunikací však bude tento podíl pravděpodobně podstatně vyšší

Rizikovitost vzniku sekundární prašnosti bude rovněž vyšší v lokalitách s vyšší průměrnou rychlostí větru, nicméně tuto závislost není možné na základě zjištěných poznatků kvantifikovat.

Tyto závěry popisují výhradně skutečnosti spojené s výskytem sekundární prašnosti v suchém období. S vyšší vlhkostí povrchu se množství zviřených prachových částic výrazně snižuje a bude tedy klesat i podíl sekundární prašnosti na imisní zátěži PM₁₀.

Výsledky hodnocení naznačují **základní podmínky výskytu sekundární prašnosti na území Prahy v dlouhodobém průměru**. Z charakteru procesů, při kterých ke vzniku sekundární prašnosti dochází je zcela logické, že se tento jev bude často vyskytovat pouze nárazově po určitý krátký časový úsek, ve kterém bude podíl sekundární prašnosti na imisním zatížení často podstatně vyšší než jsou uvedené průměrné hodnoty. Naproti tomu např. při bezvětří může být podíl sekundární prašnosti zcela minimální. Obdobně bude mít časové omezení výskyt vyššího podílu sekundární prašnosti v okolí staveníšť a bude významně ovlivněn dobou výstavby.

Postup hodnocení sekundární prašnosti použitý v této práci, jejímž podkladem je [17], je z metodického hlediska poměrně ojedinělý. V České republice nebyla obdobná studie dosud zpracována. Zahraniční práce byly vesměs založeny na podstatně náročnějších postupech, a to buď na podrobných rozbořech složení prašného aerosolu nebo na velmi komplikovaných modelových výpočtech. Tyto studie obvykle uvádí podíl sekundární prašnosti na celkových koncentracích PM₁₀ v ovzduší městských aglomerací ve výši 30-50 %. Ze zde provedeného porovnání je patrné, že výsledky dosažené v [17] se s uvedenými údaji v zásadě shodují.

6 Návrh základních opatření ke snižování rizik výskytu sekundární prašnosti

V tomto odstavci se pokusíme provést základní nástin návrh základních opatření ke snižování rizik výskytu sekundární prašnosti.

Jak vyplynulo z předchozích odstavců, sekundární prašnost tak, jak je pojata v této kapitole a zdůvodněna v odst.2, představuje v městské aglomeraci dosti závažný problém. Výskyt zvýšených koncentrací prašného aerosolu v ovzduší je spojován především s výskytem respiračních chorob (kašel, bronchitida), snížením funkce plic, kardiovaskulárními nemocemi a v některých případech i astmatem. Bez ohledu na konkrétní specifické projevy je však za prokázaný považován nárůst nemocnosti a úmrtnosti při opakovaném výskytu vyšších koncentrací prašného aerosolu. Zvýšená úroveň prašnosti, zejména pokud se vyskytuje krátkodobě, výrazně snižuje komfort života ve městě.

Tab. 13-3 Zastoupení ploch kategorií sekundární prašnosti na území Prahy

Kategorie výskytu prašnosti	možného sekundární	Rozloha (ha)	Zastoupení na území Prahy (%)
Kategorie 1		6 912	13,9
Kategorie 2		13 293	26,8
Kategorie 3		26 428	53,3
Kategorie 4		2 585	5,2
Kategorie 5		397	0,8
Celkem		49 616	100,0

Jak vyplývá z Tab.13-3, do nejméně rizikových oblastí (kategorie 1 a 2) spadá přibližně 40% veškerých městských ploch. Tyto kategorie mají výrazný **podíl městské zeleně**, a proto z tohoto poznatku vyplývá jedno ze základních opatření, které vede ke snižování rizik výskytu sekundární prašnosti. Zelené plochy by se měly stát přirozenou částí každé nové městské výstavby a měla by být i projevena snaha o „přesun“ některých městských území z kategorie 3 do kategorie 2.

Z Obr. 1 a 5 vyplývá, jak významnou úlohu v pravděpodobnosti výskytu sekundární prašnosti sehrává vlhkost povrchu. Je zcela evidentní, že nelze 50% plochy města v delších obdobích letních such pravidelně zavlažovat. Bylo by však žádoucí, aby v letním období **v místech vyšší koncentrace obyvatelstva byly komunikace kropeny**, pokud je bezesrážkové období delší než 10-14 dnů. Zcela bezpodmínečně by ke kropení komunikací mělo docházet v oblastech kategorie 4.

Do oblastí spadajících do kategorií 3 a 4 by měla být soustředěna snaha o celkový **úklid komunikací po skončení zimního období** a o **odstranění veškerých zbytků zimních posypových materiálů**. Za velmi podstatný lze považovat i **pravidelný úklid vozovek** během roku, a to nejméně s odstupem 4-6 týdnů.

Území z kategorie 5 by měla spadat do **oblasti zcela zvláštního režimu**, tj. provozovatelé takových ploch by měli mít **povinnost provádět opatření** na eliminaci zvýšené prašnosti (kropení, zakrývání, budování vhodných bariér, snižování doby provozu na minimum). Při výjezdu dopravní techniky ze staveniště na veřejnou komunikaci by měl mít provozovatel rovněž za povinnost uvést dopravní prostředek do takového stavu, aby přenos prašných částic na veřejnou komunikaci byl zcela minimální.

7 Literatura

- [1] Bachmann, J. D. at al. (1996), Review of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: Policy Assessment of Scientific and Technical Information - QAPS Staff Paper, US EPA
- [2] Hůnová, I. (2000), Právní předpisy Evropské unie a jejich důsledky pro monitorování prašného aerosolu (PM₁₀) pro Českou republiku, Ochrana ovzduší 6–7, 1–3

- [3] Hauck, H. (1998) Revision of Ambient Air Quality Standards for PM? Toxicology Letters 96, 97, 269–276
- [4] Calvert, S., Englund, H. M. (1984) Handbook of Air Pollution Technology. John Wiley & sons New York. 1066 str.
- [5] WHO (1987) Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě, MŽP ČR Praha 1996, 428 str.
- [6] MŽP (2001), Vyhláška Ministerstva životního prostředí, kterou se stanovují imisní limity, podmínky a požadavky na posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší a provádění zvláštní ochrany ovzduší, stanovuje přípustná míra obtěžování zápachem a způsob jejího zjišťování, a rozsah informací o stavu ovzduší a způsob jejich zpřístupňování (návrh)
- [7] Barlow, T., McCrae, I. (2000) Exhaust emissions from HDV. in: INRETS (ed.) (2000) 9th International Symposium "Transport and Air Pollution", Arcueil, 2000, 604 – 611
- [8] Tai, H. S., Lin, J. J., Noll, K. E. (1999), Characterization of Atmospheric Dry Deposited Particles at Urban and Non-Urban Locations. J. of Aerosol Sci., 49, 1057 – 1068
- [9] AWMA (ed.) (1997), Health Effects of Particulate Matter in Ambient Air, Air&Waste Management Assoc. Pittsburgh
- [10] EPA (1999) Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume I, AP-42. in: AIR CHIEF 7 (CD). US EPA
- [11] Giess, P. Goddard, A. J. H., Shaw, G. (1992) Factors Affecting the Resuspension for Monodisperse Particles from Grass Swards. J. of Aerosol Sci. 23, S889 - S892
- [12] Giess, P. Goddard, A. J. H., Shaw, G. (1997), Factors Affecting Particle Resuspension from Grass Swards. J. of Aerosol Sci., 28, 1331 – 1349
- [13] Jaecker-Voirol, A., Pelt, P. (2000), PM₁₀ Emission Inventory in Ile De France for Transport And Industrial Sources: PM₁₀ Re-Suspension, a Key Factor for Air Quality, Environmental Modelling & Software 15, 575–581
- [14] Heldstab, J., Haan, P. (1999), PM₁₀ Map and Population Exposure for Switzerland. in: INRETS, (ed.) (1999) 8th International Symposium "Transport and Air Pollution", Arcueil, 1999, 55 – 57
- [15] Píša, V. a kol. (1999), Ekologická studie Beroun, Ovzduší. MÚ Beroun, Beroun, 68 str.
- [16] Chow, J. C., Watson, J. G. (1998), Guideline on Speciated Particulate Monitoring, US EPA, 291 str.
- [17] Karel, J. (2001), Hodnocení sekundární prašnosti na území Prahy, Diplomová práce PřFUK, 85 str.
- [18] Slabá, N. a kol. (1972) Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČSSR, ČHMÚ Praha
- [19] Píša V. a kol. (1996) Modelové hodnocení kvality ovzduší na území hl. m. Prahy, IMIP Praha , 46 str.
- [20] Hrdá, J., Weiss, K., Pretel, J. (1983), Znečištění ovzduší v Praze. ČHMÚ, ÚFA ČSAV, MFF UK, 80 str.
- [21] EPA (1999) Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume I, AP-42. in: AIR CHIEF 7 (CD). US EPA
- [22] ÚDI Praha (1999), Ročenka dopravy, ÚDI Praha, 52 str.
- [23] ATEM (2001): Program zjištění dynamické skladby vozového parku na silniční síti ČR - pracovní výstupy (v přípravě)
- [24] Pretel, J. (1996), *Klimatologická studie pro potřeby zpracování územního plánu hl.m.Prahy, Útvar rozvoje města hl.m.Prahy*