

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra geografie

**Hodnocení vlivu srážek na koncentrace znečišťujících
látek v ovzduší města Olomouce**

Bakalářská práce

Eva Příborská

Vedoucí práce: RNDr. Martin Jurek, Ph.D.

Olomouc 2009

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškerou použitou literaturu a další zdroje.

V Olomouci dne 29. 7. 2009



Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, katedra geografie

Akademický rok 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student

Eva PŘÍBORSKÁ

Obor (studijní kombinace)

Regionální geografie

Název práce:

**Hodnocení vlivu srážek na koncentrace znečišťujících látek
v ovzduší města Olomouce**

**Assessment of impact of precipitation on air pollution levels
in ambient air of the city of Olomouc**

Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je vyhodnotit míru vlivu atmosférických srážek na úroveň koncentrací znečišťujících látek v Olomouci. Analýza bude provedena s využitím srážkoměrných a imisních dat dostupných prostřednictvím Informačního systému kvality ovzduší a z odboru životního prostředí Magistrátu města Olomouce.

Struktura práce:

1. Úvod, cíle a metody práce
2. Analýza míry vlivu srážek na koncentrace znečišťujících látek v ovzduší Olomouce
3. Diskuze a závěr
4. Shrnutí – Summary (česky a anglicky), klíčová slova – key words

Bakalářská práce bude zpracována v těchto kontrolovaných etapách:

listopad 2008 rešerše pramenů
únor 2009 analýza imisních a srážkoměrných dat
březen 2009 diskuze a závěr

Rozsah grafických prací: text, grafy, mapy v rozsahu přiměřeném tématu práce

Rozsah průvodní zprávy: 10 000 až 12 000 slov základního textu + práce včetně všech příloh v elektronické podobě

Seznam odborné literatury:

Harrop, O. (2002) *Air Quality Assessment and Management : A Practical Guide*. London: Spon Press. ISBN 0-415-23411-5.

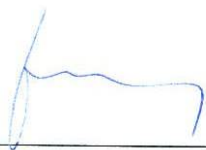
Griffin, R. D. (2007) *Principles of Air Quality Management*. 2nd ed. CRC Press. ISBN 978-0-8493-7099-1.

Moussiopoulos, N. (ed.) (2003) *Air Quality in Cities*. Springer. ISBN 3-540-00842-X.
Časopisy *Ochrana ovzduší* a *Meteorologické zprávy*.

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Martin Jurek, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 12. 6. 2008

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2009



vedoucí katedry



vedoucí bakalářské práce

Obsah

Úvod.....	6
1 Cíl práce	8
2 Teoretická východiska	9
3 Metody zpracování.....	14
4 Analýza vlivu atmosférických srážek na koncentrace znečišťujících látek	17
4.1 Vybrané charakteristiky atmosférických srážek v Olomouci v letech 2004–2008	17
4.2 Zhodnocení imisní situace v Olomouci v letech 2004–2008	19
4.3 Analýza vlivu atmosférických srážek na úroveň koncentrací znečišťujících látek.....	22
5 Diskuse.....	29
6 Závěr	31
7 Shrnutí.....	32
8 Summary	33
9 Použitá literatura	34
Seznam příloh	36

Úvod

Srážky představují důležitý mechanismus, který významně napomáhá očistě ovzduší. Padající srážkové elementy zachycují částice nečistot a absorbují plynné složky znečištění. Tyto příměsi se do srážkové vody dostávají buď již při samotném vzniku srážek, nebo v průběhu jejich padání v podoblačné vrstvě vzduchu. První z uvedených mechanismů bývá v literatuře obvykle označován termínem „rain out“ (česky „vypršení“), zatímco druhý je nazýván „wash out“ (česky vymytí). Pozorování potom ukazují, že bezprostředně po spadnutí významnějších srážek nebo ještě v jejich průběhu vzduch často obsahuje nižší koncentrace znečišťujících příměsí než před jejich začátkem. Můžeme říct, že srážky působí příznivě na vlastní čistotu atmosféry, ale na druhou stranu nečistoty takto odstraněné mohou potom negativně působit na vegetaci, zamořovat půdu, kontaminovat podpovrchové vody, poškozovat stavby apod. (BEDNÁŘ, 2003).

Tento proces, kdy jsou znečišťující látky z atmosféry odstraňovány, je všeobecně znám jako atmosférická depozice. Je definována jako tok látek z atmosféry k zemskému povrchu vyjádřený jako hmotnost sledované látky na jednotku plochy za určitou časovou jednotku. Velmi často se setkáváme s pojmem kyselá depozice, případně kyselý déšť. Kyselá depozice je komplexem procesů, při kterých jsou z atmosféry odstraňovány kyselé složky. Na okyselení srážek se nejvýznamněji podílí sulfáty a nitráty, které vznikají oxidací z emisí SO_2 a NO_x . Ty mohou být původu jak přirozeného tak antropogenního. (BRANIŠ ed., 2004).

Bakalářská práce se zaměřuje na koncentrace oxidu siřičitého, oxidu dusičitého, ozonu a prašného aerosolu frakce PM_{10} . Oxid siřičitý je nejrozšířenější látkou znečišťující ovzduší. Jeho hlavním přirozeným zdrojem je vulkanická činnost. Z antropogenních zdrojů jsou klíčové především elektrárny a teplárny spalující paliva s vysokým obsahem síry, dále pak domácí topeniště a některé technologické procesy. Česká republika zaujímá přední místo mezi jeho producenty zejména díky spalování nízkovýhřevných, nekvalitních paliv. Oxid siřičitý působí negativně zejména na zdraví organismů, dlouhodobé působení tohoto plynu způsobuje těžké astma, chronickou bronchitidu a choroby krevního oběhu. I ve velmi malých koncentracích poškozují nižší i vyšší rostlinstvo. Oxid dusičitý vzniká spalováním fosilních paliv při vytápění, ve velkých

spalovacích zdrojích i ve spalovacích motorech motorových vozidel. Také způsobuje poškození dýchacích cest. Ozon je vysoce chemicky agresivní, jedovatý plyn, který vzniká fotochemickými reakcemi v ovzduší. Škodlivé účinky má v přízemních vrstvách atmosféry, kde je hlavní součástí fotochemického smogu. Při vysokých koncentracích má rovněž negativní vliv na dýchací ústrojí a zrak. Ve vyšších vrstvách atmosféry je jeho přítomnost naopak nezbytná pro zachování suchozemského života, protože zachycuje krátkovlnné záření, které má na živou hmotu smrtelné účinky (Obroučka, 2003). Koncentrace prašného aerosolu zvyšují především automobilová doprava a těžký průmysl. Pevné částice pronikají do dýchacích cest a nesou s sebou další navázané škodliviny včetně látek karcinogenních. Částice prachu v ovzduší působí jako kondenzační jádra a jsou tak odpovědné za výskyt smogu (Krajská hygienická stanice Moravskoslezského kraje se sídlem v Ostravě, on-line).

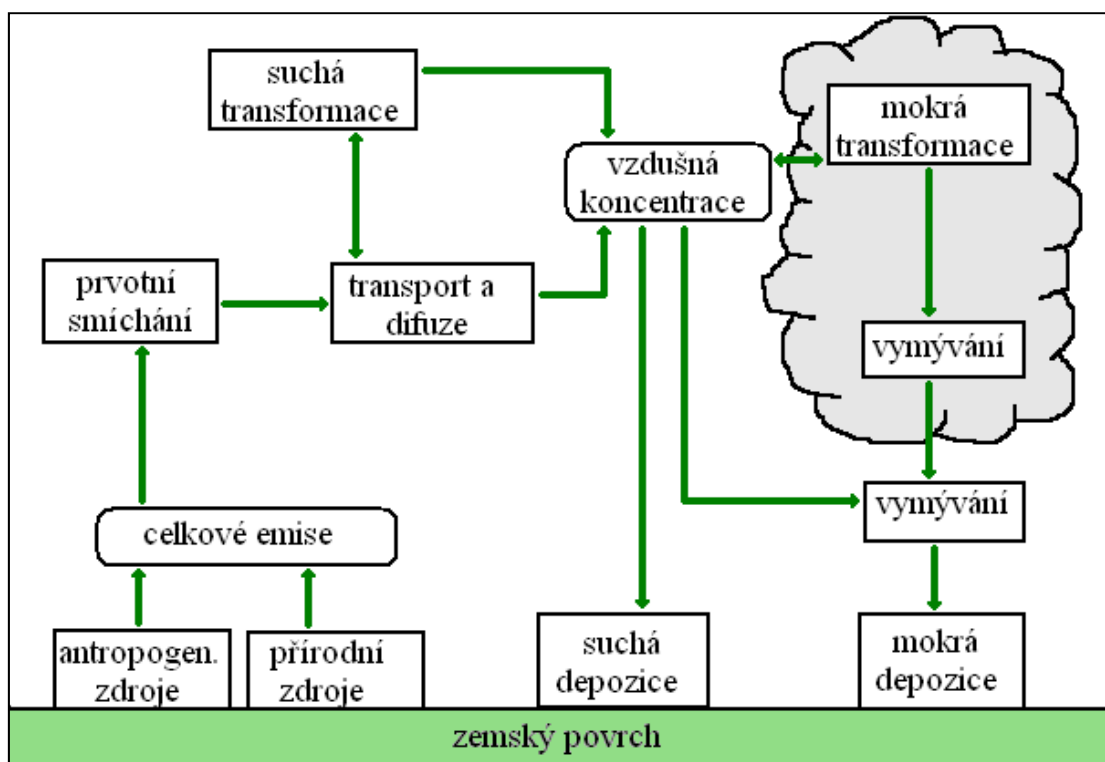
1 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je vyhodnotit míru vlivu atmosférických srážek na úroveň koncentrací znečišťujících látek v Olomouci. Podkladem pro analýzu jsou srážkoměrná a imisní data dostupná na odboru životního prostředí Magistrátu města Olomouce, naměřená na stanici městského imisního monitoringu Olomouc-Velkomoravská ve formě půlhodinových nebo hodinových koncentrací oxidu siřičitého, oxidu dusičitého, ozonu a polévatého prachu frakce do 10 μm a údajů o množství srážek, a to za období let 2004–2008.

2 Teoretická východiska

Základní informace o vlivu srážek na koncentrace znečišťujících látek v ovzduší poskytují publikace popisující atmosférickou depozici a její složky a dále pak publikace o znečišťujících látkách a jejich členění. O prvním jevu pojednává Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší (HŮNOVÁ, JANOUŠKOVÁ, 2004), Aktuální otázky znečištění ovzduší (BRANIŠ ed., 2004) a Kompendium ochrany kvality ovzduší (KURFÜRST ed., 2008). Třetí jmenovaná publikace nabízí stručný přehled informací k tomuto tématu a má sloužit jako pomůcka studentům vysokých škol, pracovníkům veřejné správy a zástupcům společností, jejichž činnost souvisí nějak s ochranou ovzduší. Jednotlivé znečišťující látky potom detailně zpracovává publikace Ochrana ovzduší I. (OBROUČKA, 2003). Problematice kyselých dešťů se detailněji věnují publikace Meteorologie (BEDNÁŘ, 2003) a Kyselý déšť (SAWYER, 1990). Druhá zmiňovaná je publikací Světového fondu pro ochranu přírody, doplněná stručným přehledem stavu v České republice. Sumarizuje obecné poznatky o vlivu negativních činitelů na vývoj některých složek životního prostředí. Rovněž se zaměřuje na určité regionální problémy, které přerůstají do problémů globálních. V rámci konání 7. mezinárodní konference o kyselých deštích *Acid Rain 2005* byl vydán sborník prací jednotlivých autorů *Acid Rain 2005* (HŮNOVÁ ed., 2005). V souvislosti s touto konferencí vznikla i spíše popularizační publikace *Kyselý déšť stále s námi* (HRUŠKA, KOPÁČEK, 2005). Publikace *Acid Rain – Deposition to Recovery* (BRIMBLECOMBE et al. (eds.), 2007) zahrnuje nejnovější poznatky vědců a výzkumných pracovníků, kteří se zaměřují na tento jev a jeho důsledky.

Vliv srážek na kvalitu ovzduší je součástí širšího souboru mechanismů, označovaných souhrnně jako cyklus znečišťujících látek (obr. 1). Přehledně jej popsali např. SCHROEDER a LANE (1988). Zdroje emisí vnášejí škodliviny do atmosféry; jedná se jak o zdroje přírodní, tak o antropogenní. Vnášené znečišťující látky dělíme na organické, anorganické a organokovové. Každá škodlivina přetrvává v atmosféře určitý čas, může to být několik dnů, měsíce, ale také několik let.



Obr. 1 Cyklus znečišťujících látek (upraveno podle SCHROEDER, LANE, 1988)

Škodliviny se při vypuštění ze zdroje okamžitě mísí s okolním vzduchem. Toto prvotní smíchání patří k fyzikálním procesům, kdy dochází k interakci mezi škodlivinami a ovzduším. Převážně záleží na aktuální konfiguraci jednotlivých složek procesu – zejména pak na teplotě prostředí, výšce okolního terénu a tlaku vzduchu. Proces se odehrává v nižších vrstvách troposféry, obvykle ve výškách do 50 m, může ale zasáhnout až do výšky 5 km nad povrchem. Typická je přítom výška 1–2 km během dne a pár stovek metrů v noci. Promíchání probíhá ve vertikálním i horizontálním směru.

Vlivem atmosférických dějů dochází k přenosu a rozptylu znečišťujících látek směrem pryč od jejich zdrojů. Vzdálenost, na kterou jsou látky přemísťovány, závisí nejen na aktuálních rozptylových podmínkách, ale také na době, po kterou jsou látky v atmosféře přítomny.

Během přenosu a rozptylu probíhá řada chemických a fotochemických reakcí, kdy dochází k přeměně škodlivin z jejich primárního stavu. Stávají se z nich látky s podobnými, nebo i značně odlišnými vlastnostmi. Například z netoxického a nekarcinogenního pyrenu¹ se reakcí s NO_x stává vysoce škodlivý a karcinogenní nitropyren.

¹ polycyklický aromatický uhlovodík vznikající převážně spalovacími procesy

Imise znečišťující látky je její poměrné množství neboli koncentrace v atmosféře poté, co prošla procesem přenosu a rozptylu. Odvíjí se jednak od množství látky uvolněné ze zdroje do ovzduší, ale také na vzdušných proudech, které látky přemísťují a konečně na míře přeměny a odstraňování škodlivin v atmosféře.

Depozice zprostředkovává transport látek z atmosféry na receptory – zejména na vodní plochy, na povrch půdy a na živé organismy. Rozlišuje se depozice suchá a mokrá.

Suchá depozice se týká tuhých látek a plynů a na rozdíl od mokré depozice probíhá neustále. Převládá v blízkosti zdrojů emisí, to znamená především ve městech a v blízkosti průmyslových aglomerací. Tvoří ji tři základní mechanismy: rozptyl, sedimentace a spad. Suchý depoziční tok D_d (udáný v $\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) lze vyjádřit vztahem $D_d = V_d \cdot C_a$, kde V_d je rychlost depozice v cm s^{-1} a C_a je koncentrace látky u zemského povrchu v g cm^{-3} .

Mokrá depozice je vázána na atmosférické srážky vertikální (déšť, sníh apod.) i horizontální (jinovatka, námraza aj.). Na rozdíl od suché depozice, mokrá probíhá převážně v pozadových oblastech, tzn. v oblastech bez vlastních zdrojů. Mokrá depoziční tok D_w (udáný v $\mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) lze vyjádřit vztahem $D_w = V_r \cdot C_r / (A \cdot t)$, kde V_r je objem srážek (l), C_r je koncentrace škodliviny ve srážkách v $\mu\text{g/l}$, A je plocha, na které je depozice počítána (cm^2), a t je čas (s).

Důležitými pojmy jsou vypršení a vymývání. Vypršení spočívá v tom, že znečišťující látky působí jako kondenzační jádra už při vzniku atmosférických srážek a při vymývání dochází k navázání škodlivin na již existující dešťové kapky nebo sněhové vločky vypadávající z oblaků.

Chemické složení atmosférických srážek a atmosférická depozice se sledují na území České republiky dlouhodobě na poměrně značném počtu stanic. Například v roce 2007 byla do databáze Informačního systému kvality ovzduší ISKO dodána data o chemickém složení atmosférických srážek celkem z 54 lokalit. Z toho 16 lokalit zajišťuje Česká geologická společnost, 15 Český hydrometeorologický ústav, 14 Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 3 Výzkumný ústav vodohospodářský Tomáše Garrigue Masaryka a 6 Hydrobiologický ústav Akademie věd České republiky (ČHMÚ, on-line).

Vlivem škodlivin na lidské zdraví a přírodu se zabývají rovněž články odborných časopisů. Například článek Hodnocení zdravotních rizik ze znečištění ovzduší v roce 2006 (KAZMAROVÁ et al., 2008) odhaduje zdravotní rizika v České republice, na kterých se podílí vystavení populace konkrétním znečišťujícím látkám. Pozorovány byly zejména NO₂, PM₁₀, As, Cd, Ni a benzen. Výzkum byl proveden pro celé území České republiky, pro všechny městské stanice i pro vybrané typy městských lokalit. Hodnocení zdravotních rizik potvrdilo, že největším problémem jsou suspendované částice a polycyklické aromatické uhlovodíky.

Účinky prachových částic popisuje článek Některé z nových poznatků o vlivech částic prachu na zdraví lidí (RYCHLÍKOVÁ, 2007). Podává informace o aktuálních zjištěních o vztahu znečišťujících částic a lidského zdraví, včetně statistických hodnocení. Z výsledků vyplývá, že dlouhodobá expozice vyvolává nárůst respiračních onemocnění dolních cest dýchacích, redukce plicních funkcí u dětí i dospělých a rovněž zvýšenou úmrtnost na nemoci srdce a plic.

Nové poznatky o vlivu znečištěného ovzduší na zdravotní stav populace (ŠRÁM, 2007) ukazují vývoj znečištění ovzduší v modelových oblastech Teplic, Prachatic a Prahy. Studován byl prašný aerosol PM₁₀ a PM_{2,5}. Poukazuje na dopady vystavení populace škodlivinám do budoucna, jak se projeví například na příštích generacích.

Imisní monitoring Českého hydrometeorologického ústavu (OSTATNICKÁ, 2007) je zase úvodním ze seriálu článků o ovzduší v zónách a aglomeracích České republiky. Cílem tohoto měření, které provozuje Český hydrometeorologický ústav, je poskytování potřebných informací jak široké veřejnosti, tak státním orgánům. Je zde popsána klasifikace imisních stanic a metody měření na těchto stanicích. Ovzduší Olomouckého kraje konkrétně řeší článek Ovzduší v zónách a aglomeracích České republiky – Olomoucký kraj (HOMOLKOVÁ, MACHART, PTAŠEK, 2007). Jedná se o čtvrtou část seriálu o této problematice a seznamuje nás s emisní situací a monitorovací sítí znečištění ovzduší, provozovanou v zóně Olomoucký kraj. Podle výsledků patří Olomoucký kraj ke krajům se středně až mírně znečištěným ovzduším. Mezi největší znečišťovatele v kraji řadíme Teplárnu Přerov a Teplárnu Olomouc, provozované firmou Dalkia ČR. Ty mají nejvyšší emise SO₂ a NO_x. Nejvíce CO produkuje potom cementárna Cement Hranice. Vysoký podíl na SO₂ pochází z chemičky PRECHEZA a.s. v Přerově. Co se týká územního zatížení Olomouckého kraje emisemi ze

stacionárních zdrojů, tak téměř 41 % připadá na okres Přerov, druhý je okres Olomouc s 27 % a nejméně emisí připadá na okres Jeseník (5 %). Dopady ozonu zase popisuje článek Depoziční tok ozonu do lesních ekosystémů na území České republiky (CHROUST, ZAPLETAL, 2007). Ozon patří k nejdůležitějším látkám znečišťujícím ovzduší, které působí na lesní ekosystémy v Evropě a má celou řadu negativních dopadů na vegetaci.

3 Metody zpracování

Data potřebná k vypracování analýzy míry vlivu atmosférických srážek na úroveň koncentrací znečišťujících látek v Olomouci byla převzata ze stanice městského imisního monitoringu Olomouc-Velkomoravská. Ta je umístěna v zahradě Středního odborného učiliště polytechnického v blízkosti rušné komunikace Velkomoravská. Stanice je kategorizována jako dopravní v městské obytné zóně. Je vybavena kombinovaným měřicím programem a monitoruje SO₂, NO₂, O₃, PM₁₀, teplotu vzduchu, srážky a rychlost a směr větru (ČHMÚ, on-line). Naměřené hodnoty z ní jsou dostupné i na internetových stránkách Magistrátu města Olomouce (<http://www.olomouc.eu/ovzdusi/>). Data pro zpracování poskytl odbor životního prostředí Magistrátu města Olomouce v tabulkových souborech formátu MS Excel, které zahrnovaly jednak verifikované denní úhrny srážek spolu s denními průměry a extrémní koncentrací škodlivin, ale také neverifikovaná půlhodinová a hodinová data.

Data o srážkových úhrnech z této měřicí stanice mají rozlišení s krokem 1 mm, nelze z nich tedy rozlišit srážky s úhrnem menším než 1 mm. Vzhledem k řešené problematice vymývání znečišťujících látek lze toto rozlišení dat považovat za dostatečné, neboť u srážek s úhrnem do 1 mm lze předpokládat jen nízkou míru vlivu na koncentrace škodlivin v ovzduší.

V první řadě bylo třeba potřebná data sjednotit – tabulky půlhodinových úhrnů srážek (roky 2004–2008) a půlhodinových koncentrací PM₁₀ (roky 2004 a 2005) byly přepočteny na tabulky hodinových hodnot, aby je bylo možné zahrnout do analýzy společně ostatními daty, která mají krok po celých hodinách (srážkové úhrny byly sečteny, hodinové koncentrace PM₁₀ byly určeny jako aritmetický průměr hodnot půlhodinových).

Z neverifikovaných dat o kumulovaných půlhodinových úhrnech srážek byly vypočteny hodinové srážkové úhrny a také denní srážkové úhrny, které byly porovnány s daty verifikovanými. Na základě toho byly z datové řady hodinových srážkových úhrnů vyřazeny údaje ze dnů 27., 30. a 31. 1. 2004, kdy se verifikované a neverifikované denní úhrny lišily, u všech ostatních údajů za hodnocené období byla zjištěna shoda.

Při studiu odborné literatury k danému tématu se nepodařilo nalézt již zpracovanou metodu pro zamýšlenou analýzu vycházející z obdobných dat, proto byla pro účely této práce navržena vlastní, níže popsaná metodika. Je založena na identifikaci jednotlivých srážkových epizod a na výpočtu indexu změny koncentrací před a po srážkové epizodě.

Jednotlivé srážkové epizody za sledované období let 2004–2008 byly identifikovány následovně: jako **srážková epizoda** je chápáno souvislé období dnů s denními srážkovými úhrny alespoň 1 mm, přičemž v případě výskytu jednoho dne beze srážek (úhrn 0 mm) mezi dvěma dny se srážkami se tento den považuje ještě za součást jedné srážkové epizody. Mezi dvěma oddělenými srážkovými epizodami musí být tedy alespoň 2 dny se srážkovým úhrnem 0 mm. Všechny takto identifikované srážkové epizody byly vzestupně očíslovány pořadovými čísly 1, 2, 3, ..., 202.

Do další analýzy byly zařazeny jen ty srážkové epizody, v nichž se nevyskytovaly výpadky měření větší než dvojice za sebou jdoucích chybějící hodnot. Takových srážkových epizod bylo ve sledovaném období 73. Pokud se v nich vyskytovaly krátké výpadky hodnot (1 nebo 2 hodiny za sebou), byla data o koncentracích znečišťujících látek doplněna lineární interpolací sousedních hodnot, data o srážkových úhrnech byla za tyto chybějící údaje ponechána na 0 mm (vycházelo se z kumulovaných úhrnů, tedy první hodnota po výpadku měření již v sobě obsahovala úhrn srážek dosažený za celou dobu výpadku).

Pro účely hodnocení vlivu srážek na koncentrace znečišťujících látek byly z datových řad vybrány intervaly obsahující dny jedné srážkové epizody doplněné o jeden den předcházející a jeden den následující.

Srážkové epizody byly analyzovány z hlediska **základních charakteristik** – podle údajů o teplotě vzduchu byly rozděleny na srážky na dešťové a sněhové podle mezní teploty 0 °C. U každé srážkové epizody byl určen **celkový úhrn srážek**, časový **rozsah epizody** v hodinách (doba od prvního do posledního nenulového srážkového úhrnu), skutečná doba **trvání srážek** (počet hodin s nenulovým srážkovým úhrnem v rámci epizody), **průměrná intenzita srážek** (v mm/h; vypočtená jako podíl celkového úhrnu a skutečné doby trvání srážek) a **maximální intenzita srážek** (také v mm/h, určená výběrem maximálního dosaženého hodinového úhrnu srážek).

Poté byly pro každou srážkovou epizodu vypočteny **indexy změny koncentrací** jednotlivých znečišťujících látek SO₂, NO₂, O₃ a PM₁₀. Index byl stanoven jako podíl průměrné koncentrace škodliviny za časový úsek 24 hodin bezprostředně následující epizodu ku průměrné koncentraci škodliviny za časový úsek 24 hodin bezprostředně předcházejících epizodě. Tento index může teoreticky nabývat hodnot $\langle 0; +\infty \rangle$, přičemž hodnota indexu rovná 1 znamená stejnou úroveň koncentrace před a po epizodě, hodnoty větší než 1 indikují vyšší koncentraci ve vymezeném časovém úseku po srážkové epizodě oproti stavu před epizodou, hodnoty v rozmezí $\langle 0; 1 \rangle$ znamenají nižší koncentraci škodliviny po epizodě oproti úrovni před epizodou.

Určené indexy změny koncentrací byly postupně konfrontovány se všemi zjištěnými charakteristikami srážkových epizod znázorněním do bodových grafů a proložením spojnice lineárního trendu (regresní přímky) s využitím nástrojů aplikace Microsoft Excel 2007. Vedle popisu výsledků analýzy (kapitola 4) byla provedena i diskuse zvolené metody se zaměřením na její omezení a možné modifikace.

4 Analýza vlivu atmosférických srážek na koncentrace znečišťujících látek

4.1 Vybrané charakteristiky atmosférických srážek v Olomouci v letech 2004–2008

Srážková činnost je popsána na základě dat pocházejících ze stanice městského imisního monitoringu Olomouc-Velkomoravská, která slouží i pro následnou analýzu vlivu srážek na koncentrace znečišťujících látek. Roční chod srážek za jednotlivé roky 2004 až 2008 ilustruje obr. 2.

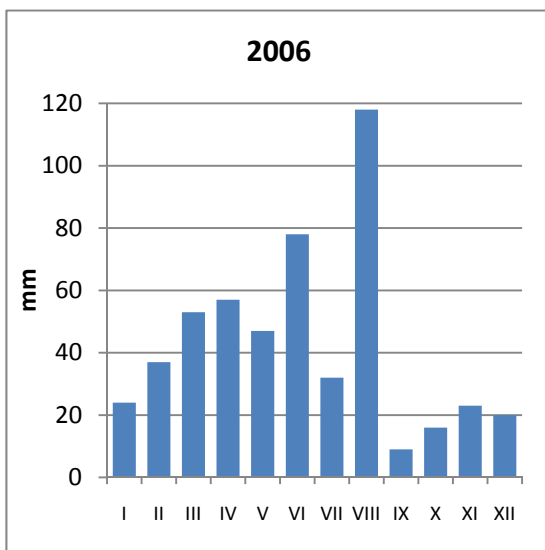
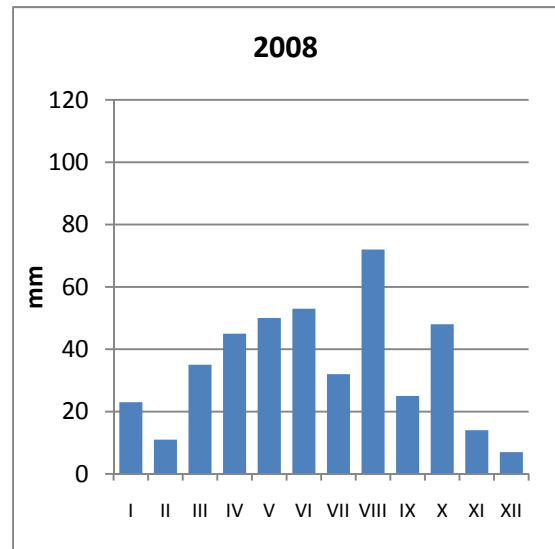
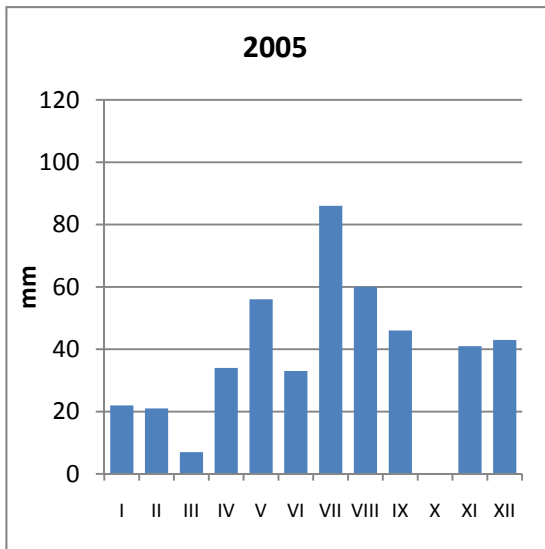
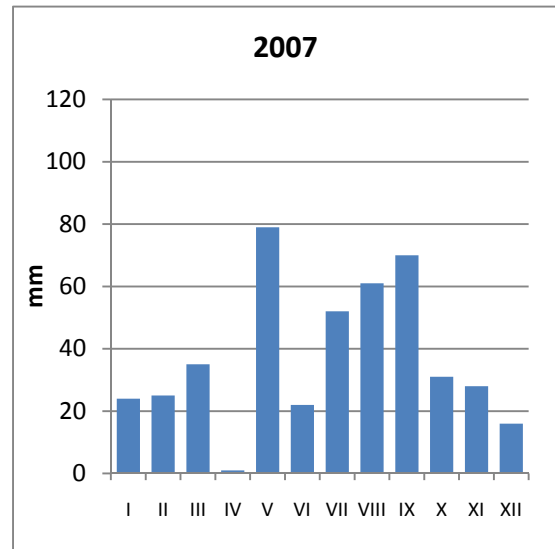
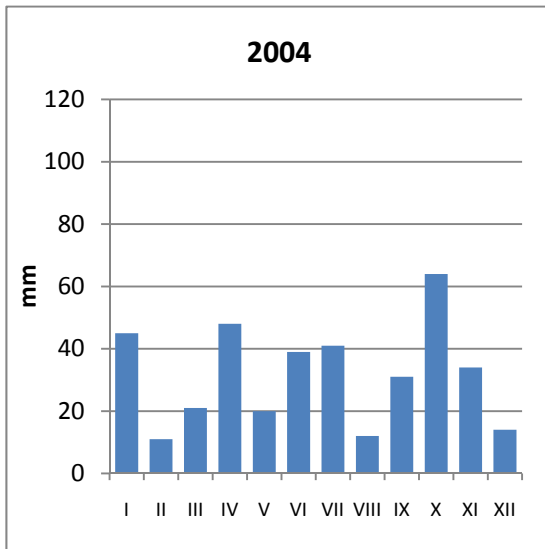
Za sledované období byl v roce 2004 srážkový úhrn nejnižší, kdy činil 380 mm. Srážkově nejvydatnější byl v tomto roce měsíc říjen s úhrnem 64 mm. Naopak nejméně spadlo srážek v měsíci únoru (11 mm).

V roce 2005 byl srážkový úhrn nejvyšší v měsíci červenci, kdy dosáhl 86 mm a toto množství tvořilo téměř 20 % z celkového ročního úhrnu (449 mm). Naopak v měsíci říjnu byl úhrn srážek 0 mm. Nejedná se zřejmě o výpadek měření, pro srovnání úhrn srážek na meteorologické stanici ČHMÚ Olomouc v tomto měsíci činil také pouze 2,3 mm (ČHMÚ, on-line).

Srážkově nejvydatnějším rokem byl ve sledovaném období rok 2006 s celkovým úhrnem 514 mm. Téměř jedna čtvrtina všech srážek byla naměřena v měsíci srpnu (118 mm). Tento měsíc byl současně v letech 2004–2008 srážkově nejvydatnější. Nejmenší množství srážek spadlo v měsíci září (9 mm).

V roce 2007 byl nejnižší srážkový úhrn v měsíci dubnu (1 mm) a naopak nejvyšší hned v měsíci následujícím (79 mm). V tomto měsíci se vyskytovaly druhé nejhojnější srážky z celého sledovaného období.

Za rok 2008 činil srážkový úhrn 415 mm a tím je rokem s druhým nejnižším celkovým úhrnem. Nejvyšší srážkový úhrn byl naměřen v měsíci srpnu (72 mm) a nejnižší potom v měsíci prosinci (7 mm).



Obr. 2 Roční chod srážek v lokalitě Olomouc-Velkomoravská v letech 2004–2008

Podle metodiky popsané v kapitole 3 byly následně určeny charakteristiky jednotlivých srážkových epizod (jejich souhrn uvádí příloha A k bakalářské práci).

V roce 2004 bylo zjištěno 14 epizod, které byly všechny dešťové povahy. V šesti případech epizoda trvala déle než deset hodin. Průměrné trvání srážky bylo pět hodin a průměrná intenzita se pohybovala kolem hodnoty 2,4 mm/h.

Rok 2005 zahrnoval 12 srážkových epizod. Opět byly všechny dešťového charakteru až na epizodu č. 37, která měla povahu sněhovou. Srážkové epizody číslo 49, 57 a 64 překonaly svým trváním dva dny. Samotné srážky trvaly v průměru 8 hodin s průměrnou intenzitou 3,7 mm/h.

V roce 2006 bylo vymezeno nejméně (9) srážkových epizod z celého sledovaného období. Epizody č. 77 a 79 byly sněhového charakteru, ostatní dešťového. Epizody 77 a 80 trvaly každá déle než pět dní. Srážková epizoda č. 91 měla nejvyšší průměrnou intenzitu za celé sledované období (22 mm/h), ostatní dosahovaly v průměru hodnoty 3,1 mm/h.

Následující rok zahrnoval 27 epizod, z nichž byla pouze jedna (č. 110) sněhového charakteru. Průměrné trvání srážky činilo 6,7 h a průměrná intenzita dosahovala hodnoty 2,4 mm/h.

Poslední rok sledovaného období zahrnoval 11 srážkových epizod, z nichž všechny byly dešťové povahy, kromě epizody č. 151. Nejdelsí trvání měla epizoda č. 157, kdy přšelo téměř 14 dnů a je tím současně nejdéle trvající srážkovou epizodou za celé pětileté sledované období. Průměrná intenzita byla 3,7 mm/h.

I přes určitou meziroční variabilitu v ročním chodu srážek i v rozložení charakteristik srážkových epizod lze sledované období let 2004–2008 označit za srážkově vyrovnané, bez výrazně extrémních nehomogenit.

4.2 Zhodnocení imisní situace v Olomouci v letech 2004–2008

Data použitá k základnímu zhodnocení imisní situace v lokalitě Olomouc-Velkomoravská byla převzata z ročenek imisního monitoringu provozovaného odborem životního prostředí Magistrátu města Olomouce. Charakteristika koncentrací byla provedena pro následující znečišťující látky: SO₂, NO₂, O₃ a PM₁₀. Příloha B

k bakalářské práci obsahuje grafy znázorňující průměrné měsíční koncentrace a dosažená maxima z hodinových hodnot pro každou znečišťující látku v každém roce sledovaného období. Imisní situace byla popsána zvlášť pro každou výše jmenovanou znečišťující látku vždy za celé zkoumané období na základě grafů v příloze B a tab. 1.

Tab. 1 Průměrné roční koncentrace základních znečišťujících látek v lokalitě Olomouc-Velkomoravská, období 2004–2008 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

rok	SO ₂	NO ₂	O ₃	PM ₁₀
2004	7,5	39,3	29,0	23,7
2005	6,3	48,2	27,0	34,5
2006	11,6	56,5	27,0	43,1
2007	13,7	37,3	27,1	31,1
2008	9,8	35,1	16,1	37,2

Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

Nejnižší roční průměrná koncentrace pro SO₂ byla dosažena v roce 2005 a činila 6,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, naopak nejvyšší v roce 2007 činila 13,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Při porovnání jednotlivých let můžeme pozorovat, že u této znečišťující látky nedochází k výrazným výkyvům mezi průměrnými měsíčními koncentracemi. U hodnot maximálních ale k výkyvům docházelo, a to nejvíce v roce 2004, konkrétně v měsících dubnu a září, kdy maxima dosáhla nejvyšších hodnot za celé pětileté období. V letech následujících už nebyly výkyvy tak výrazné a v roce 2008 byla dosažená maxima nejnižší. Protože není patrný nějaký pravidelný roční chod průměrných měsíčních koncentrací, je možné popsat jednotlivé roky pouze individuálně. v roce 2004 byly nejvyšší koncentrace naměřeny v březnu, dubnu a květnu a nejnižší v únoru, listopadu a prosinci. Za měsíc leden data nebyla dostupná. Rok 2005 vykazoval průměrné měsíční koncentrace velmi podobné, jen měsíc leden byl podprůměrný. Za rok 2006 bylo dosaženo nejvyšší koncentrace v únoru a březnu, nejnižší v měsíci srpnu. V roce 2007 dosahovaly málo odlišných hodnot, výrazněji vyšší byla koncentrace pouze v prosinci a naopak výrazně nižší v červenci. V roce 2008 měly koncentrace od ledna klesající charakter až do srpna, odkdy je patrný mírný nárůst.

Roční chod průměrných měsíčních koncentrací NO₂ by mohl být popsán jako rovnoměrný v celém sledovaném období. Nejvyšší roční průměrná koncentrace byla naměřena za rok 2006 (56,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a nejnižší v roce 2008 (35,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Ani hodinová maxima v jednotlivých letech nevykazují větší odchylky mezi sebou. Pouze v roce 2005

v měsíci únoru bylo maximum výrazně vyšší ($321,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) než hodnoty zbývajících měsíců, které se v průměru pohybovaly kolem hodnoty $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V roce 2008 potom byla hodinová maxima nejnižší za celé sledované období.

U přízemního ozonu bylo možno ve zkoumaném období pozorovat jistou pravidelnost v ročním chodu průměrných ročních koncentrací, a to v prvních čtyřech letech. V letních měsících, tedy v červnu, červenci a srpnu, je patrné zvýšení koncentrací, zatímco v měsících zimních (prosinec, leden, únor) jsou naměřené průměrné měsíční koncentrace nejnižší. V roce 2008 už ale tento jev tak výrazný není a naměřené hodnoty jsou více vyrovnané. Pouze leden vykazoval vyšší koncentraci i hodinové maximum. Za celé sledované období je v tomto roce nejnižší průměrná koncentrace, která oproti rokům předchozím klesla na hodnotu $16,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Naopak nejvyšší průměrná koncentrace byla naměřena v roce 2004 ($29,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Hodinová maxima vykazovala podobný průběh jako průměrné měsíční koncentrace, tedy že nejvyšších hodnot dosahovaly v letních měsících a nejnižších v zimních měsících. Už zde ale nebyla tato pravidelnost a vyskytovaly se ojedinělé výkyvy. Pro rok 2008 u hodinových maxim platí totéž jako u průměrných měsíčních koncentrací, zejména poměrně vyrovnanými a oproti předchozím rokům výrazně nižšími hodnotami.

Prašný aerosol PM_{10} dosáhl za sledované období nejvyšší roční koncentrace v roce 2006 a nejnižší v roce 2004. I u této znečišťující látky byl pozorován pravidelný roční chod, kdy nejvyšší průměrné měsíční koncentrace byly naměřeny obvykle v jarních a podzimních měsících, nižší potom v měsících letních a zimních. Obdobnou pravidelnost lze vypořádat rovněž u hodinových maxim.

Charakteristiku imisní situace v lokalitě Olomouc-Velkomoravská je možné shrnout konstatováním, že v období let 2004–2008 zde nedošlo k výraznějším změnám v úrovních koncentrací u žádné ze sledovaných znečišťujících látek. Nejnižší úroveň zátěže vykazuje SO_2 , naopak nejzávažnější je situace s úrovní koncentrací prашného aerosolu. Ke zvýšeným úrovním koncentrací NO_2 přispívá zejména silniční doprava, koncentrace přízemního ozonu vykazují výraznější roční chod v závislosti na proměnlivých hodnotách intenzity insolace a úzce souvisejí i s koncentracemi NO_2 prostřednictvím řetězce fotochemických reakcí (přízemní ozon je sekundární znečišťující látka).

4.3 Analýza vlivu atmosférických srážek na úrovně koncentrací znečišťujících látek

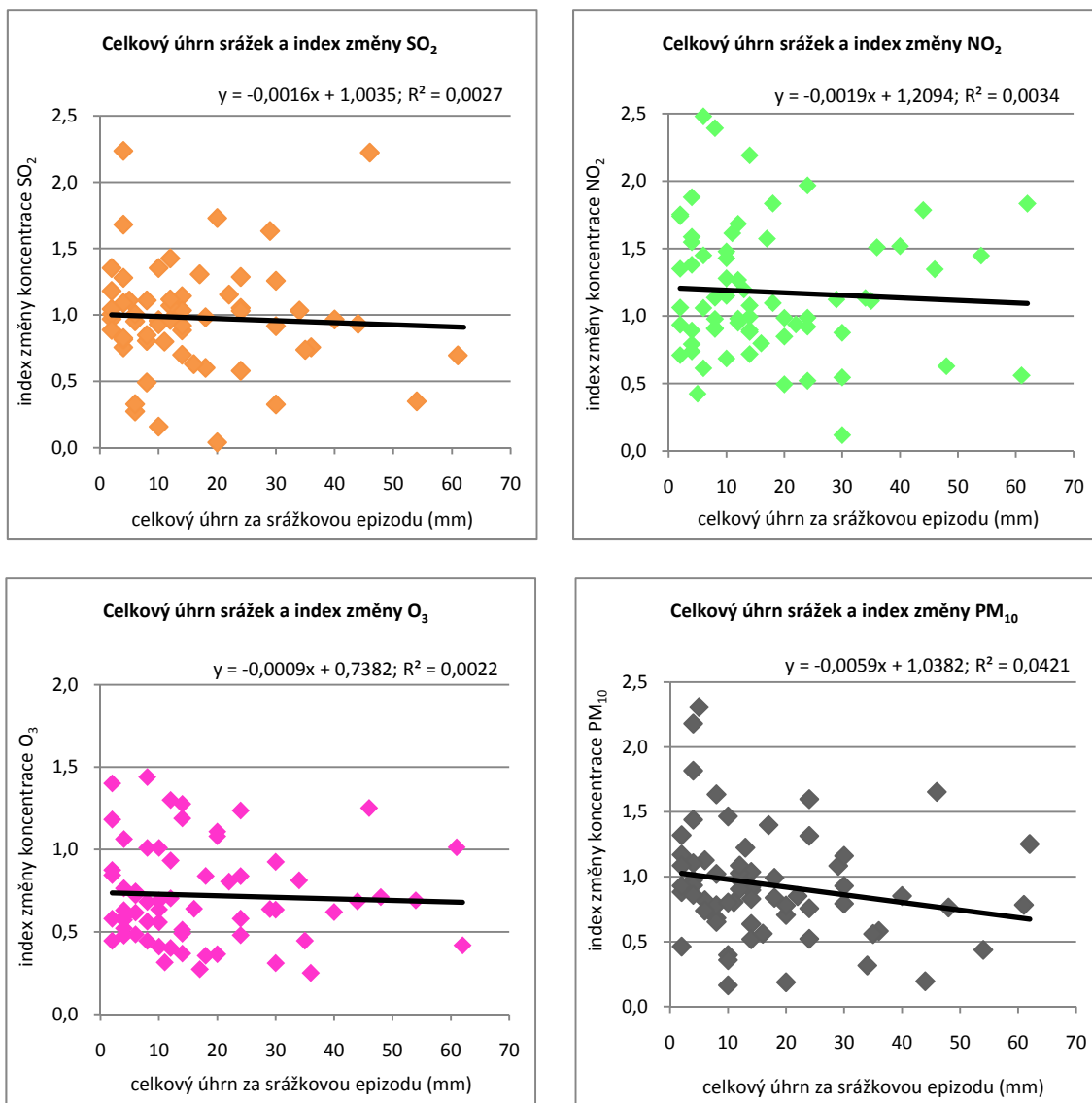
Pro každou ze 73 identifikovaných srážkových epizod byla určena čtveřice indexů změny koncentrací sledovaných znečišťujících látek SO₂, NO₂, O₃ a PM₁₀. Základní rozložení hodnot indexu postihuje tab. 3, rozložení hodnot indexů vůči charakteristikám srážkových epizod dokumentují obr. 3–7.

Ze všech 73 epizod bylo pouze pět s předpokládanou sněhovou povahou (teplota vzduchu byla nižší než 0°C), je tedy možné konstatovat výraznou převahu dešťových srážek a zároveň není účelné vyhodnocovat z dat zvláště indexy pro srážky dešťové a zvláště pro srážky sněhové.

Z tab. 3 je patrné, že k úplné shodě úrovně koncentrací za časový úsek 24 hodin před a 24 hodin po srážkové epizodě došlo pouze u O₃, a to u jediné epizody. Při srovnání četnosti zastoupení vyšších koncentrací před epizodou a po epizodě nelze učinit jednoduchý ani jednoznačný závěr. V případě SO₂ a NO₂ je poměr vzestupů a poklesů více méně vyrovnaný s tím, že u NO₂ docházelo k výraznějším poklesům ($I < 0,9$) pouze ve čtvrtině všech případů, což je ještě méně často než v případě SO₂. U přízemního ozonu je převaha poklesů koncentrací naopak nejvýznamnější, z podstaty procesu vzniku a zániku této sekundární škodliviny je ale zřejmé, že tento pokles nemůže být přičítán samotnému procesu vymývání srážkami, ale že se jedná především o důsledek omezeného přísunu slunečního záření během srážkové činnosti. V důsledku popsaného utlumení fotochemické tvorby přízemního ozonu není v ovzduší tak rychle odbouráván ani NO₂ a jeho koncentrace proto naopak reagují vzrůstem (to může být vysvětlením dříve zmíněného nízkého zastoupení poklesu u NO₂). Svou roli zde přirozeně také sehrává načasování srážkové epizody vůči denní nebo noční době.

Tab. 3 Rozložení hodnot indexu změny koncentrací znečišťujících látek (% všech srážkových epizod)

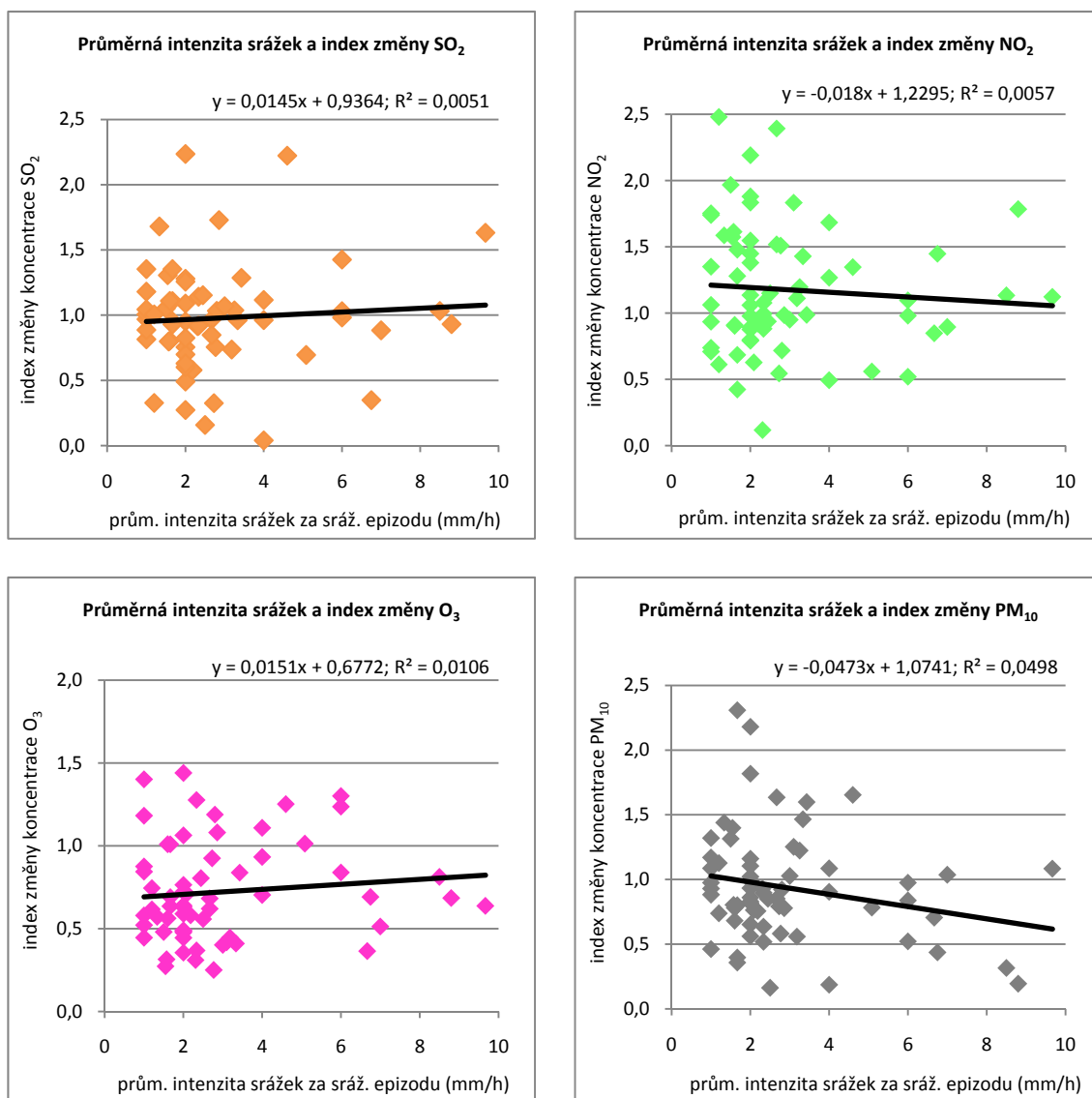
hodnota indexu (I)	SO ₂	NO ₂	O ₃	PM ₁₀
I > 1,0 (vzrůst koncentrací)	45,2	54,8	26,0	34,2
I = 1,0 (%)	0,0	0,0	1,4	0,0
I < 1,0 (pokles koncentrací)	54,8	45,2	72,6	65,8
<i>z toho: I < 0,9 (pokles o více jak 10 %)</i>	<i>38,4</i>	<i>26,0</i>	<i>67,1</i>	<i>52,1</i>



Obr. 3 Rozložení hodnot indexů změny koncentrací SO₂, NO₂, O₃ a PM₁₀ vůči celkovým úhrnům za jednotlivé srážkové epizody v lokalitě Olomouc-Velkomoravská, období 2004–2008

Pravděpodobně nejtěsnější souvislost mezi procesem vymývání a poklesovými hodnotami indexu změny koncentrací je v případě prašného aerosolu PM₁₀, u kterého docházelo k poklesu ve dvou třetinách všech případů, ve více než polovině všech případů se přitom jednalo o pokles indexu na hodnoty nižší než 0,9.

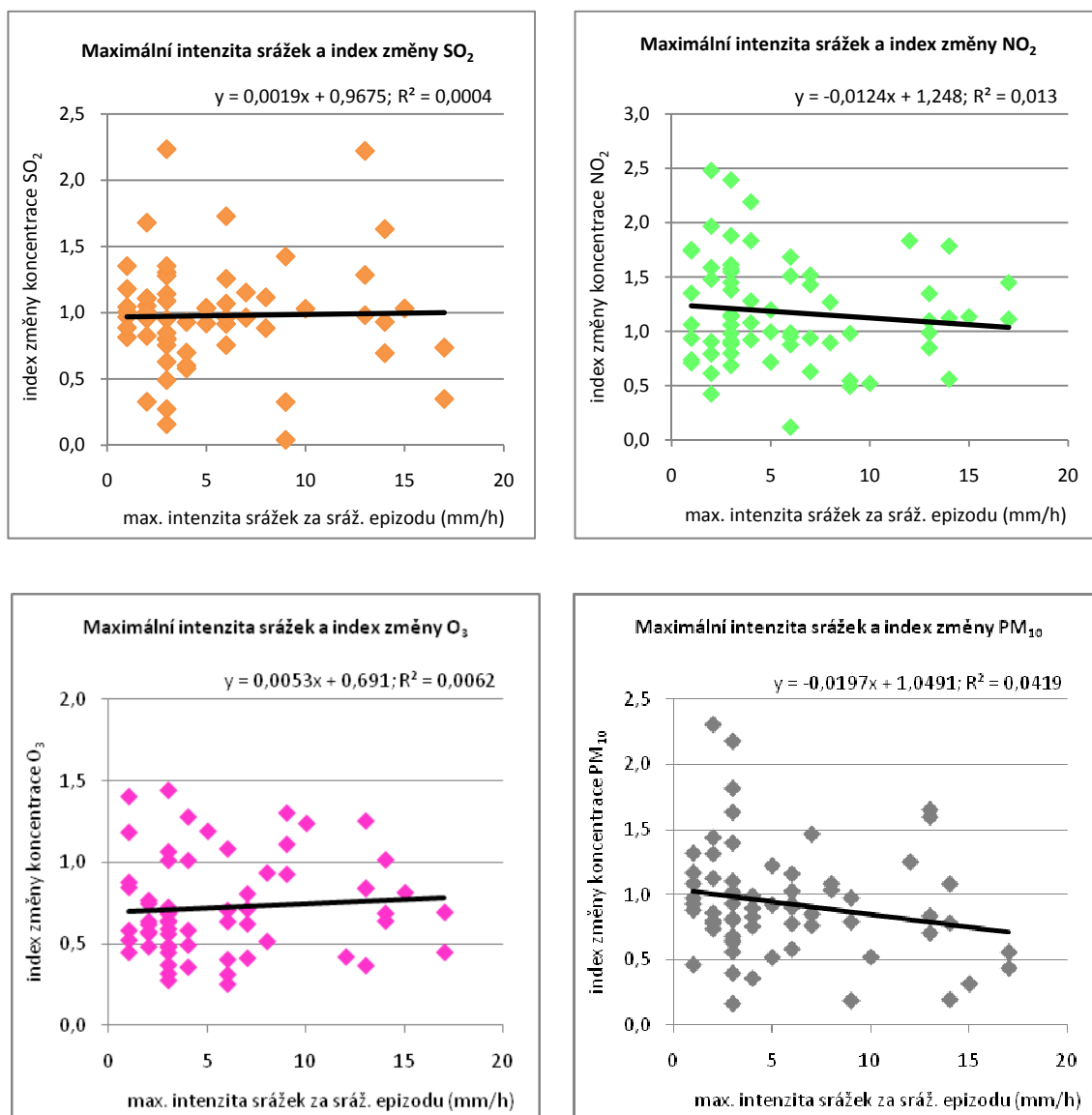
Analýza hodnot indexů změny provedená vůči jednotlivým kvantitativním charakteristikám srážkových epizod se pokoušela odhalit, zda existuje určitá kladná nebo záporná závislost mezi oběma soubory dat. Před konečným vyhodnocením bylo zapotřebí vyloučit ze zpracování případy, které se významně lišily vůči zbytku datového souboru svou extrémní polohou.



Obr. 4 Rozložení hodnot indexů změny koncentrací SO₂, NO₂, O₃ a PM₁₀ vůči průměrné intenzitě srážek za jednotlivé epizody v lokalitě Olomouc-Velkomoravská, období 2004–2008

Z toho důvodu byly z dat znázorněných na obr. 3–7 vyřazeny srážkové epizody č. 77, 80, 121, 162 a 157 vzhledem k nadměrnému rozsahu (133 a více hodin, což je značný odstup od nejrozsáhlejší ponechané epizody s rozsahem 77 hodin), epizoda 124 vzhledem k celkovému úhrnu (82 mm) a maximální intenzitě (24 mm/h) a epizoda 91 vzhledem k intenzitě průměrné (22 mm/h) a maximální (32 mm/h).

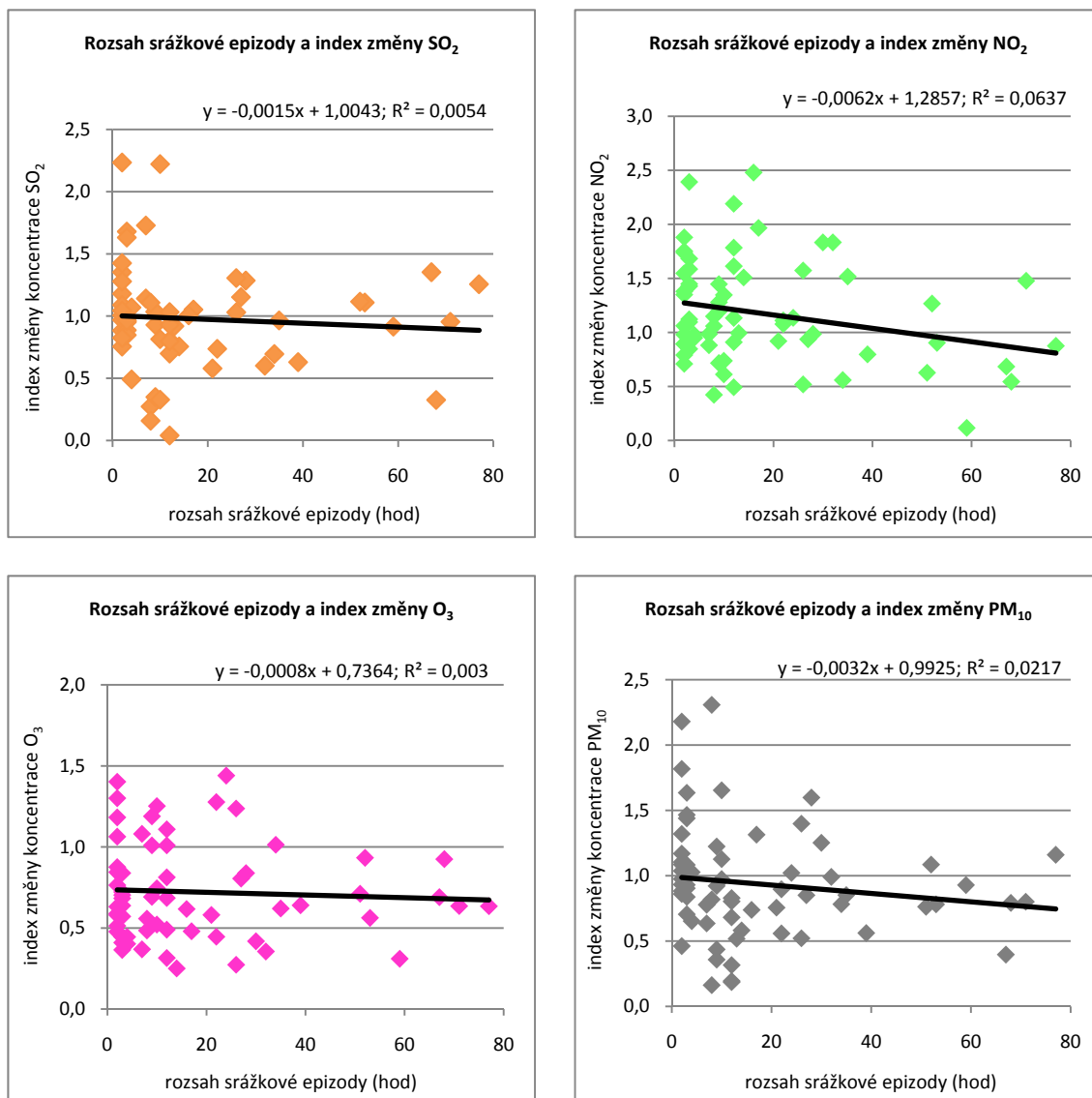
Ze sad indexů změny koncentrací pro jednotlivé znečišťující látky byly rovněž některé epizody vyřazeny, protože u nich pro danou škodlivinu dominantně převládl jiný faktor ovlivňující úroveň imisí. Z vyhodnocení indexu SO₂ byly vyřazeny epizody č. 57 a 66 pro příliš vysokou hodnotu indexu a epizody 61–63 pro nulové hodnoty koncentrací.



Obr. 5 Rozložení hodnot indexů změny koncentrací SO₂, NO₂, O₃ a PM₁₀ vůči maximální intenzitě srážek za jednotlivé epizody v lokalitě Olomouc-Velkomoravská, období 2004–2008

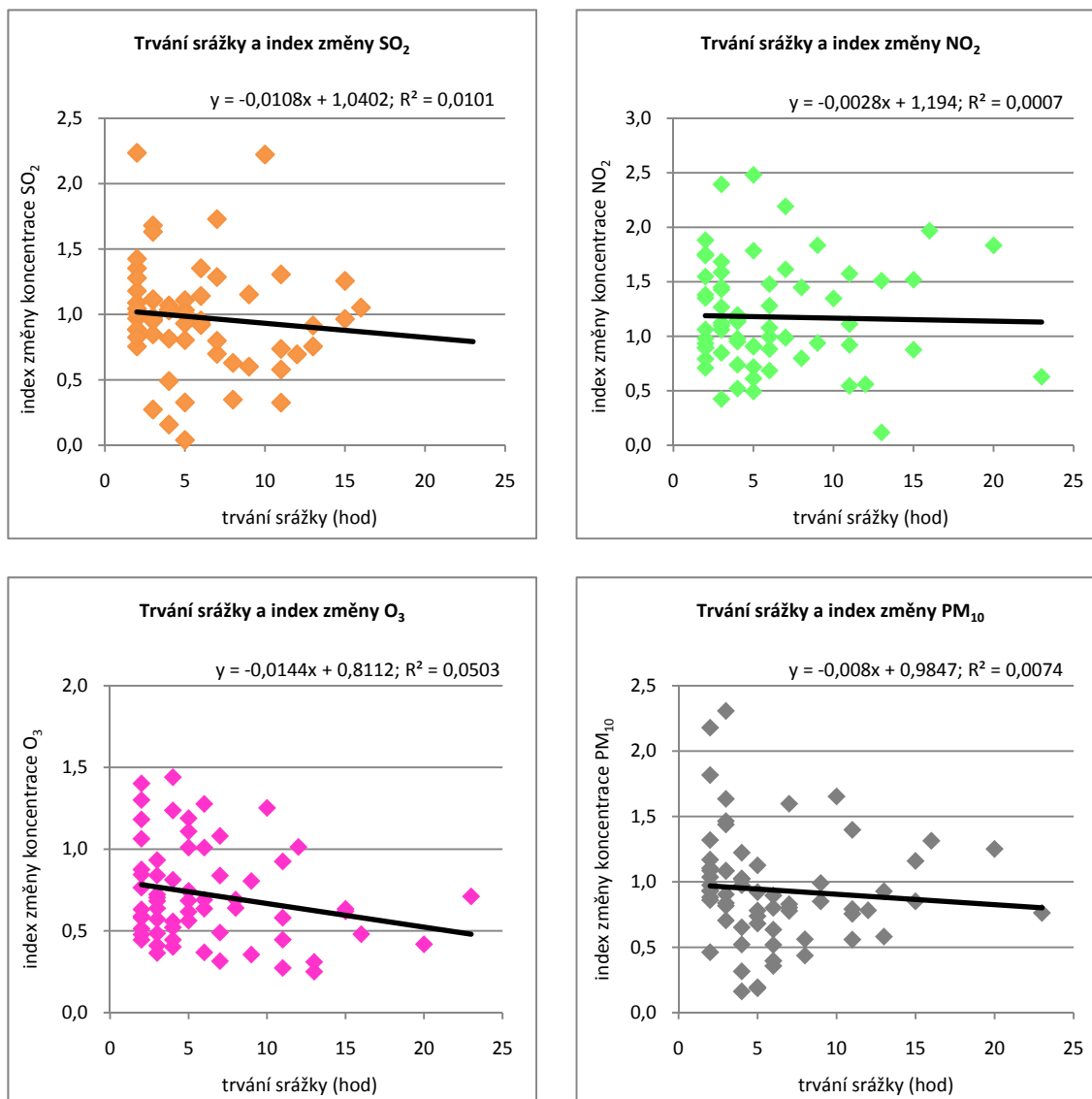
Ze sady indexu NO₂ nebyly dodatečně vyřazeny žádné epizody. Ze sady indexu pro O₃ byly vyřazeny epizody 109, 119 a 146 pro odlehlé, příliš vysoké hodnoty indexu, u sady indexů pro PM₁₀ bylo vyřazení provedeno u epizody č. 13 rovněž pro odlehle vysokou hodnotu indexu.

Výsledné grafy tak znázorňují rozložení hodnot indexů vůči charakteristikám srážkových epizod na základě 61 epizod pro SO₂, 66 epizod pro NO₂, 63 epizod pro O₃ a 65 epizod pro PM₁₀. Do grafů byly přidány spojnice trendu v podobě regresní přímky (její rovnice je uvedena vždy nad grafem spolu s hodnotou spolehlivosti).



Obr. 6 Rozložení hodnot indexů změny koncentrací SO₂, NO₂, O₃ a PM₁₀ vůči časovému rozsahu srážkových epizod v lokalitě Olomouc-Velkomoravská, období 2004–2008

Žádný ze sestrojených případů regresní závislosti nelze prohlásit za statisticky významný vzhledem k velmi nízkým hodnotám R^2 . To ukazuje, že pro změnu úrovní přízemních koncentrací vyhodnocených znečišťujících látek jsou určující jiné faktory, než je vymývání srážkovou činností. To je v zásadě očekávatelný výsledek vzhledem ke skutečnosti, že rozhodujícími faktory pro úroveň koncentrace znečišťující látky v ovzduší jsou rozptylové podmínky (dané zejména teplotním zvrstvením a rychlostí proudění vzduchu) a intenzita emise znečišťující látky ze zdroje. Přesto lze u jednotlivých škodlivin vypořádat a okomentovat určité rozdíly v chování v závislosti na povaze srážkové epizody.



Obr. 7 Rozložení hodnot indexů změny koncentrací SO₂, NO₂, O₃ a PM₁₀ vůči skutečnému trvání srážek v rámci epizod v lokalitě Olomouc-Velkomoravská, období 2004–2008

V případě SO₂ je regresní závislost vůbec nejnižší, teoretická přímka nachází ve velmi těsné blízkosti úrovně indexu 1,0 a jednotlivé epizody jsou rozloženy téměř rovnoměrně nad i pod touto úrovní.

V případě O₃ se přímka regrese nachází poměrně nízko, v oblasti hodnot indexu okolo 0,7, což ukazuje na převažující poklesové hodnoty indexu nezávisle na tom, zda je srážka intenzivní, vydatná či dlouhá (i při nejnižších hodnotách těchto charakteristik má přímka regrese polohu okolo hodnot indexu 0,7–0,8). To jen nepřímě potvrzuje, že skutečnou příčinou poklesu koncentrace není samotná srážková činnost, ale výrazný nárůst oblačnosti, který se srážkou souvisí (útlum fotochemického vzniku O₃). Nejvýrazněji poklesovou tendenci má proto také index v závislosti na trvání srážky.

Index změny koncentrace NO_2 se také zdánlivě chová jako do určité míry závislý na srážkové činnosti, což ovšem ve skutečnosti potvrzuje jeho zapojení do cyklu tvorby a rozpadu fotochemického smogu. Teoretická přímka regrese se pohybuje převážně nad úrovní indexu 1,0, v návaznosti na srážkové epizody dochází tedy spíše k vzestupu úrovně koncentrací NO_2 . Souvisí to zřejmě s omezenou tvorbou O_3 , který díky tomu neodbourává molekuly NO_2 stejně rychle jako při počasí s nízkou mírou pokrytí oblohy oblačností.

Nejvýrazněji se poklesová tendence indexu změny koncentrace v závislosti na srážkové činnosti projevuje u prašného aerosolu PM_{10} . Pro nízké hodnoty všech srážkových charakteristik je poloha příslušné části přímky regrese blízká 1,0 a s rostoucí hodnotou srážkových charakteristik pozvolna klesá. Nejvýraznější je tento pokles v případě závislosti na průměrné intenzitě srážek. Přesto je i tuto regresní přímku možné chápat jen jako určité znázornění střední hodnoty daného souboru srážkových epizod, který ovšem nelze statisticky spolehlivě zobecnit na všeobecně platnou regresní závislost.

5 Diskuse

Analýza zjištěné nízké úrovně statistické závislosti indexu změny koncentrace znečišťujících látek na charakteristikách srážkových epizod naznačuje, že na podobu imisní situace v přízemní vrstvě atmosféry v Olomouci mají převažující vliv jiné faktory než je vymývání srážkami. Na daném souboru byly testovány i jiné volby průběhu regresní křivky (logaritmická, mocninná, exponenciální), ovšem s obdobnými výsledky, bez výraznějšího zvýšení spolehlivosti regrese.

Je otázkou, zda by se obdobně nízká míra statistické závislosti objevila i při analýze imisních dat z lokality s ovzduším znečištěným výrazněji, než jaké má Olomouc. Hodnoty koncentrací sledovaných znečišťujících látek často nejsou příliš vzdáleny přirozenému pozadí atmosféry, proto ani změna koncentrace v drtivé většině případů nevychází z nijak vysokých počátečních hodnot. Je tedy možné, že u více znečištěného ovzduší by byl vliv vymývání průkaznější a významnější. Alespoň v případě prašného aerosolu je tato domněnka oprávněná. U plynných škodlivin se ovšem jejich mokrá depozice odvíjí spíše od transformace v kyselou srážku už při formování oblačnosti, samotný proces průchodu vertikální srážky přízemní atmosférou má ve srovnání s tím daleko méně výrazný efekt.

Při zpracování analýzy bylo testováno i alternativní vyjádření k použitému indexu změny. Zatímco index změny (I) vychází z průměrné koncentrace škodliviny v časovém úseku 24 h před srážkovou epizodou (K_1) a z průměrné koncentrace škodliviny v časovém úseku 24 h po srážkové epizodě (K_2) podle vzorce $I = K_2 / K_1$, byla k analýze navržena ještě relativní míra změny koncentrace (M) vypočtená podle vzorce $M = (K_2 - K_1) / K_1$. Ta je z matematického hlediska ovšem pouze o 1 snížená hodnota indexu I (stagnace je při $M=0$, záporné hodnoty znamenají pokles koncentrace, kladné hodnoty nárůst koncentrace). Z hlediska statistické analýzy nemá smysl vyhodnocovat zároveň I a M , protože to by vedlo pouze k duplicitním výsledkům. Míra M by mohla být ovšem rovnocenně použita místo indexu I v případě, že by se jevila jako srozumitelnější pro interpretaci a prezentaci výsledků.

Smysluplnější možností úpravy metodiky by mohlo být posouzení vhodnosti délky časového úseku, za který se průměruje koncentrace škodliviny před srážkovou epizodou a po ní. Použitý interval 24 h byl zvolen se záměrem alespoň do určité míry eliminovat

vliv denního chodu koncentrací (tak, aby byly zastoupeny hodnoty z celého denního cyklu před i po srážce), je ovšem možné, že takto zvolená doba je už příliš dlouhá a efekt vymytí se v přízemních koncentracích již za tu dobu stírá. Možnou cestou by mohlo být otestování na odstupňované sadě kratších časových intervalů se záměrem pokusit se odhalit dobu, po jakou je vliv srážkové epizody po jejím ukončení průkazný (svou roli zde také samozřejmě hraje sama délka trvání epizody a její povaha – zda se jedná o intenzivní až přívalovou srážku, nebo o srážku celkově málo intenzivní a nepříliš vydatnou, i když třeba i delšího trvání).

6 Závěr

Provedené zhodnocení vlivu atmosférických srážek na koncentrace znečišťujících látek v ovzduší města Olomouce vycházelo z pětileté řady dat o srážkách a úrovních koncentrací v lokalitě Olomouc-Velkomoravská, které z hlediska srážkové činnosti i dlouhodobé imisní situace vykazovaly relativně stejnorodou povahu.

Analýza souvislosti mezi charakteristikami srážkových epizod a hodnotami indexu změny koncentrací neprokázala statisticky významnou závislost ani u jedné ze sledovaných škodlivin.

V případě SO_2 se vypočtené změny koncentrací jeví jako prakticky nezávislé na jakékoliv charakteristice srážek (na úhrnu srážek, intenzitě srážek i době jejich trvání).

Ve vysokém podílu případů (76,2 %) zaznamenaný pokles koncentrací O_3 je nutné interpretovat především v souvislosti s útlumem tvorby fotochemického smogu při obloze zatažené oblačností, nikoliv jako přímý důsledek srážkové činnosti. Tato skutečnost zřejmě souvisí i s chováním indexu změny koncentrace NO_2 , který je součástí cyklu tvorby a rozpadu fotochemického smogu a mírně převažující nárůst jeho koncentrace tvoří protiváhu útlumu tvorby O_3 během srážkových epizod.

Nejvýraznější, i když stále statisticky nespolehlivá, byla závislost indexu změny koncentrací na srážkové činnosti u prašného aerosolu PM_{10} , kde docházelo k poklesu koncentrací v 65,8 % případů. Vymývání prašného aerosolu z atmosféry má spíše fyzikální než chemickou podstatu, a tak u něj vertikální srážky odstraňují při průchodu ovzduším zřejmě větší podíl než v případě plyných škodlivin.

7 Shrnutí

Bakalářská práce na téma *Hodnocení vlivu srážek na koncentrace znečišťujících látek v ovzduší města Olomouce* analyzuje časovou řadu dat o atmosférických srážkách a úrovních koncentrací čtyř základních znečišťujících látek v ovzduší (SO₂, NO₂, O₃ a MP₁₀) ze stanice automatizovaného imisního monitoringu Olomouc-Velkomoravská, provozované Magistrátem města Olomouce, a to za pětileté období 2004–2008.

Práce je založena na vlastní metodice analýzy srážkových epizod a indexů změny koncentrací znečišťujících látek. Po základním zhodnocení srážkové činnosti a celkové imisní situace za období let 2004–2008 analyzuje hodnoty indexů změny koncentrací jednak v základním rozložení intervalů hodnot, ale také v závislosti na pěti charakteristikách srážkových epizod (úhrn srážek, průměrná intenzita srážky, maximální intenzita srážky, časový rozsah epizody a délka trvání srážek).

Výsledky analýzy neprokázaly statisticky spolehlivou závislost ani u jedné z hodnocených znečišťujících látek. Nejmenší míru závislosti vykazoval SO₂, zdánlivou závislost O₃ a NO₂ na srážkové činnosti je ve skutečnosti třeba dát do souvislosti s tlumicí úlohou oblačnosti v cyklu tvorby fotochemického smogu. Nejzřetelnější opodstatnitelnou závislost vykazaly změny koncentrace prašného aerosolu PM₁₀.

8 Summary

The bachelor thesis *Assessment of impact of precipitation on air pollution levels in ambient air of the city of Olomouc* analyses a data set of atmospheric precipitation totals and air pollution levels of four main pollutants in the ambient air (SO₂, NO₂, O₃ a MP₁₀) collected at the automated air pollution monitoring station of Olomouc-Velkomoravská, run by the Municipal Authority of Olomouc. The data cover a five-year period of 2004-2008.

The work is based upon a specifically designed method of precipitation episodes and indices of change in air pollution levels. A basic assessment of precipitation activity and overall air pollution level description for the years of 2004-2008 is followed by an analysis of values of the indices of change in air pollution levels, starting at the distribution of values into basic intervals, and following on to the relation to five characteristics of the precipitation episodes (precipitation totals, average precipitation intensity, maximum precipitation intensity, time span of precipitation episodes, duration of precipitation).

The outputs of the analysis did not prove any statistically reliable dependence at any of the pollutants assessed. The lowest level of dependence was shown at SO₂. An apparent dependence of O₃ and NO₂ on precipitation activity needs to be linked in fact to the inhibiting role of clouds in the cycle of photochemical smog. The most obvious justifiable dependence was shown at changes of air pollution levels of particulate matter PM₁₀.

9 Použitá literatura

Tištěné prameny

BEDNÁŘ, J. (2003): *Meteorologie (Úvod do studia dějů v zemské atmosféře)*. Praha: Portál. 224 s.

BRANIŠ, M. (ed.) (2004): *Aktuální otázky znečištění ovzduší*. Praha: Ústav pro životní prostředí Přírodovědecké fakulty, Centrum pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy. 216 s.

BRIMBLECOMBE, P. et al. (eds.) (2007): *Acid Rain – Deposition to Recovery*. Dordrecht: Springer. 420 s.

HOMOLKOVÁ, B., MACHART, J., PTAŠEK, P. (2007) Ovzduší v zónách a aglomeracích České republiky – Olomoucký kraj. *Ochrana ovzduší* 4/2007, s. 3–6.

HRUŠKA, J., KOPÁČEK, J. (2005): Kyselý déšť stále s námi. *Planeta* 12, 5, s. 1–24.

HŮNOVÁ, I. et al. (eds.) (2005): *Acid Rain 2005*. Praha: ČHMÚ, 756 s.

HŮNOVÁ, I., JANOUŠKOVÁ, S. (2004): *Úvod do problematiky znečištění ovzduší*. Praha: Univerzita Karlova. 144 s.

CHROUST, P., ZAPLETAL, M. (2007): Depoziční tok ozonu do lesních ekosystémů na území České republiky. *Ochrana ovzduší*, 3/2007, s. 20–25.

KAZMAROVÁ, H. et al. (2008): Hodnocení zdravotních rizik ze znečištění ovzduší v roce 2006. *Ochrana ovzduší*, 1/2008, s. 8–12.

KURFÜRST, J. (ed.) et al. (2008): *Kompendium ochrany kvality ovzduší*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor. 407 s.

OBROUČKA, K. (2003): *Ochrana ovzduší I (zdroje a látky znečišťující ovzduší)*. Ostrava: Vysoká škola podnikání. 81 s.

OSTATNICKÁ, J. (2007): Imisní monitoring Českého hydrometeorologického ústavu. *Ochrana ovzduší*, 1/2007, s. 3–5.

PECINOVÁ, A. (ed.) (2007): *Dlouhodobější výhled ochrany ovzduší v České republice*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor. 45 s.

RYCHLÍKOVÁ, E. (2007): Některé z nových poznatků o vlivech částic prachu na zdraví lidí. *Ochrana ovzduší*, 1/2007, s. 19–20.

SAWYER, J. (1990): *Kyselé deště*. Praha: MŽP ČR, SZN. 48 s.

SCHROEDER, W. H., LANE, D. A. (1988): The fate of toxic airborne pollutants. *Environmental Science & Technology*, 22, 3, s. 240–246.

ŠRÁM, R. J. (2007): Nové poznatky o vlivu znečištěného ovzduší na zdravotní stav populace. *Ochrana ovzduší*, 5–6/2007, s. 5–8.

ZAPLETAL, M., CHROUST, P. (2007): Depoziční tok ozonu do lesních ekosystémů na území České republiky. *Ochrana ovzduší*, 3/2007, s. 20–21.

Elektronické prameny

ČHMÚ [on-line]. Úsek ochrany čistoty ovzduší [cit. 2009-04-02].

< http://www.chmu.cz/uoco/oco_main.html/>.

Krajská hygienická stanice Moravskoslezského kraje se sídlem v Ostravě. *Znečištění venkovního ovzduší prachem* [on-line]. c2007 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW: <http://www.khsova.cz/01_aktuality/znecesteni_ovzdusi_prachem.php?datum=2006-01-23>.

Statutární město Olomouc. *Monitoring ovzduší* [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW: <https://www.olomouc.eu/mereni/monitoring-ovzdusi/ovzdusi-archiv-namerenych-hodnot_%28cesky%29>.

Seznam příloh

Příloha A Charakteristiky srážkových epizod vymezených pro analýzu

Příloha B Roční chod průměrných měsíčních koncentrací a maximálních hodinových koncentrací základních znečišťujících látek v lokalitě Olomouc-Velkomoravská v letech 2004 až 2008

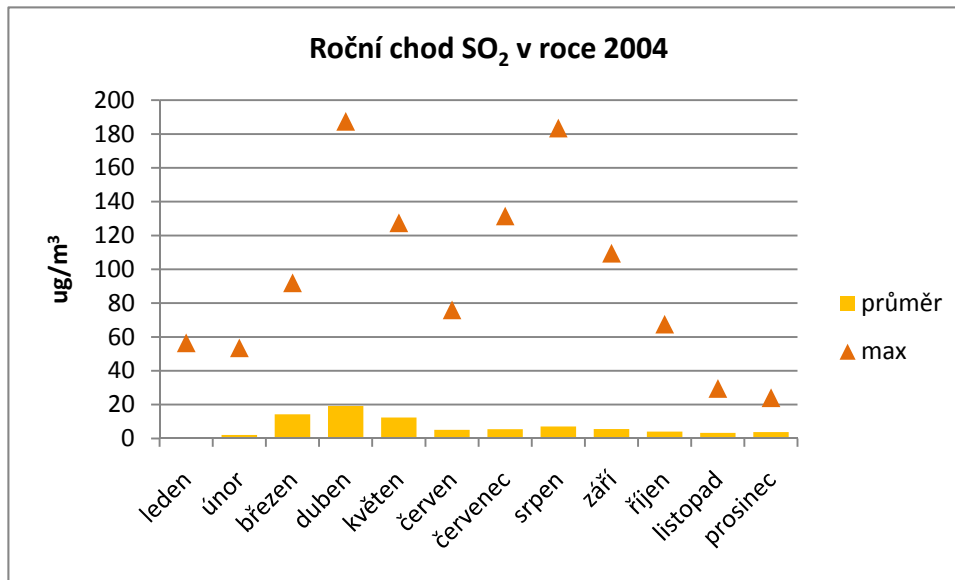
Příloha A Charakteristiky srážkových epizod vymezených pro analýzu

charakteristiky srážkových epizod								
č.	rok	datum	povaha srážek	celkový úhrn (mm)	prům. intenzita (mm/h)	max. intenzita (mm/h)	rozsah epizody (h)	trvání srážek (h)
6	2004	11.4.	déšť	6	2,0	3,0	8	3
7		16. - 17.4.	déšť	54	6,8	17,0	9	8
8		20.4.	déšť	4	1,3	2,0	3	3
9		24.4.	déšť	20	4,0	9,0	12	5
10		6.5.	déšť	10	2,5	3,0	8	4
12		15. - 16.5.	déšť	8	1,6	3,0	12	5
13		23.5.	déšť	6	2,0	3,0	3	3
18		1.8.	déšť	4	2,0	3,0	2	2
21		31.8.	déšť	4	1,0	1,0	10	4
22		12.9.	déšť	8	2,0	3,0	4	4
27		21.10.	déšť	6	1,2	2,0	10	5
29		31.10.	déšť	46	4,6	13,0	10	10
32		17.12.	déšť	2	1,0	1,0	2	2
33		26. - 27.12.	déšť	24	2,2	4,0	21	11
37	2005	24.1.	sníh	4	2,0	3,0	2	2
44		18.3.	déšť	2	1,0	1,0	2	2
49		3. - 6.5.	déšť	30	2,7	9,0	68	11
50		9. - 10.5.	déšť	24	3,4	13,0	28	7
52		23.5.	déšť	29	9,7	14,0	3	3
56		25.6.	déšť	14	7,0	8,0	2	2
57		30.6. - 2.7.	déšť	48	2,1	7,0	51	23
61		3.8.	déšť	20	6,7	13,0	3	3
62		6. - 7.8.	déšť	8	2,0	3,0	24	4
63		15. - 16.8.	déšť	62	3,1	12,0	30	20
64	21. - 24.8.	déšť	30	2,3	6,0	59	13	
66	16. - 17.9.	déšť	14	2,3	4,0	22	6	
77	2006	15. - 21.2.	sníh	52	2,0	8,0	133	26
79		9. - 11.3.	sníh	40	2,7	7,0	35	15
80		26. - 31.3.	déšť	56	2,0	4,0	133	28
88		22.6.	déšť	18	6,0	13,0	3	3
89		30.6. - 1.7.	déšť	61	5,1	14,0	34	12
91		29.7.	déšť	44	22,0	32,0	2	2
97		8.9.	déšť	10	3,3	7,0	3	3
98		20.9.	déšť	2	1,0	1,0	2	2
104	9.12.	déšť	20	2,9	6,0	7	7	

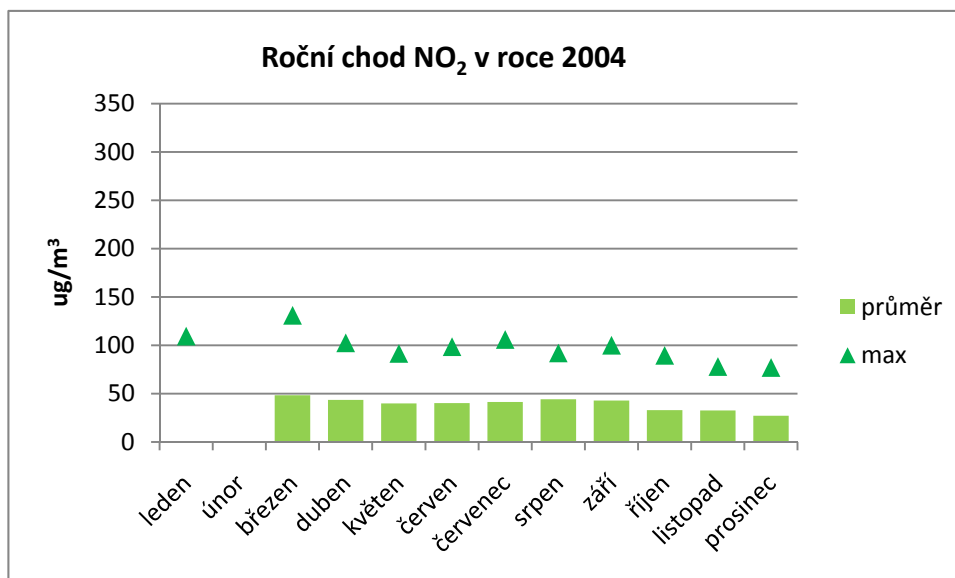
Příloha A – dokončení

charakteristiky srážkových epizod									
č.	rok	datum	povaha srážek	celkový úhrn (mm)	prům. intenzita (mm/h)	max. intenzita (mm/h)	rozsah epizody (h)	trvání srážek (h)	
109	2007	18. - 19.1.	déšť	13	3,3	5,0	9	4	
110		23. - 24.1.	sníh	17	1,5	3,0	26	11	
114		15.2.	déšť	14	2,3	3,0	7	6	
116		3.3.	déšť	14	2,8	5,0	9	5	
117		8.3.	déšť	36	2,8	6,0	14	13	
118		20.3.	déšť	24	1,5	2,0	17	16	
119		23.3.	déšť	5	1,7	2,0	8	3	
121		5. - 12.5.	déšť	18	1,5	3,0	170	12	
123		23.5.	déšť	12	6,0	9,0	2	2	
124		26. - 29.5.	déšť	82	5,5	24,0	64	15	
125		2. - 3.6.	déšť	35	3,2	17,0	22	11	
126		10.6.	déšť	2	1,0	1,0	2	2	
127		14.6.	déšť	4	2,0	3,0	2	2	
131		20. - 21.7.	déšť	24	6,0	10,0	26	4	
132		29. - 30.7.	déšť	14	2,0	4,0	12	7	
133		3.8.	déšť	4	2,0	3,0	2	2	
134		9.8.	déšť	12	3,0	6,0	4	4	
135		12.8.	déšť	2	1,0	1,0	2	2	
136		16. - 17.8.	déšť	22	2,4	7,0	27	9	
139		18.9.	déšť	11	1,6	3,0	12	7	
142		18. - 20.10.	déšť	10	1,7	3,0	67	6	
143		25. - 27.10.	déšť	8	1,6	2,0	53	5	
144		4. - 7.11.	déšť	10	1,7	2,0	71	6	
145		10. - 13.11.	déšť	30	2,0	6,0	77	15	
146		25.11.	déšť	14	2,3	5,0	13	6	
147		30.11.	déšť	2	1,0	1,0	3	2	
148		3.12.	déšť	6	1,2	2,0	16	5	
151		2008	6. - 7.1.	sníh	18	2,0	4,0	32	9
157			12. - 25.3.	déšť	40	2,1	7,0	331	19
159			2. - 3.4.	déšť	16	2,0	3,0	39	8
160	7.4.		déšť	10	1,7	4,0	9	6	
161	12.4.		déšť	8	2,7	3,0	3	3	
162	15. - 22.4.		déšť	56	2,9	10,0	154	19	
163	3. - 5.5.		déšť	12	4,0	8,0	52	3	
166	8.6.		déšť	12	4,0	6,0	3	3	
167	11.6.		déšť	44	8,8	14,0	12	5	
180	23.8.		déšť	4	2,0	2,0	2	2	
181	7. - 8.9.		déšť	34	8,5	15,0	12	4	

Příloha B Roční chod průměrných měsíčních koncentrací a maximálních hodinových koncentrací základních znečišťujících látek v lokalitě Olomouc-Velkomoravská v letech 2004 až 2008

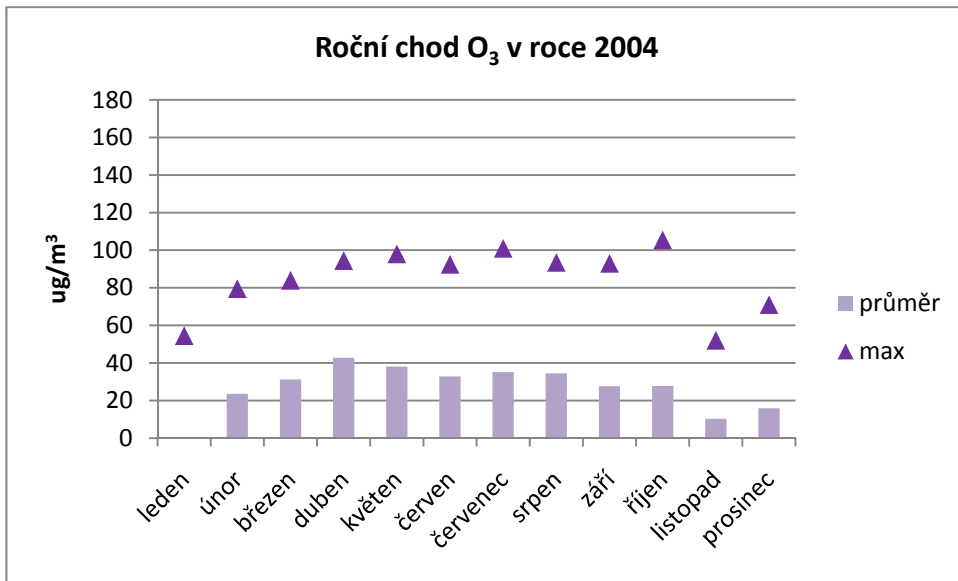


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

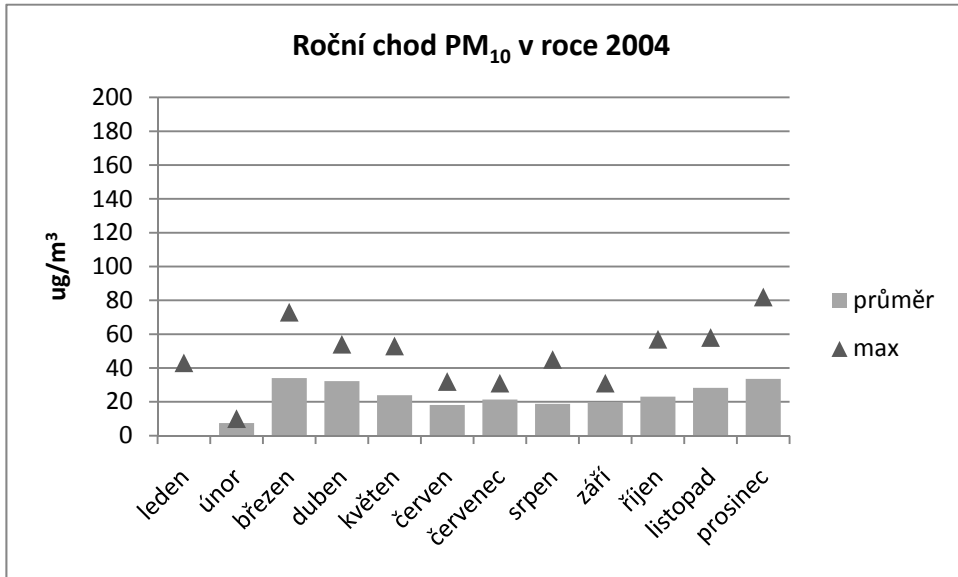


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

Příloha B – pokračování

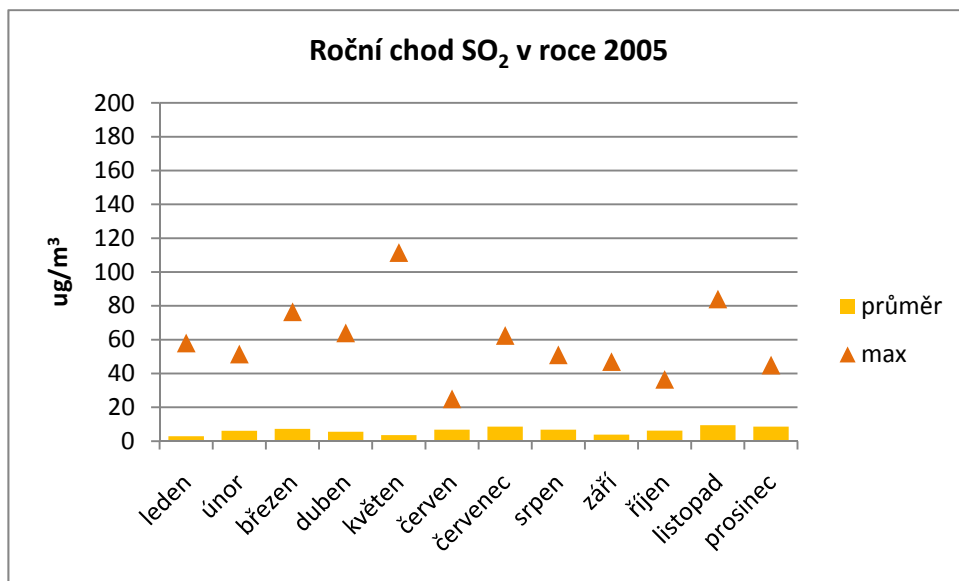


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

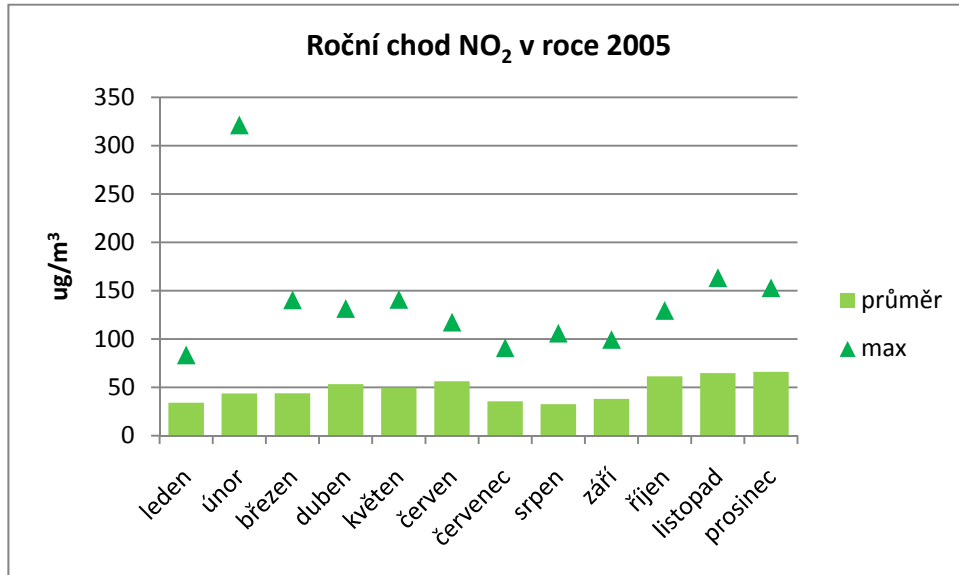


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

Příloha B – pokračování

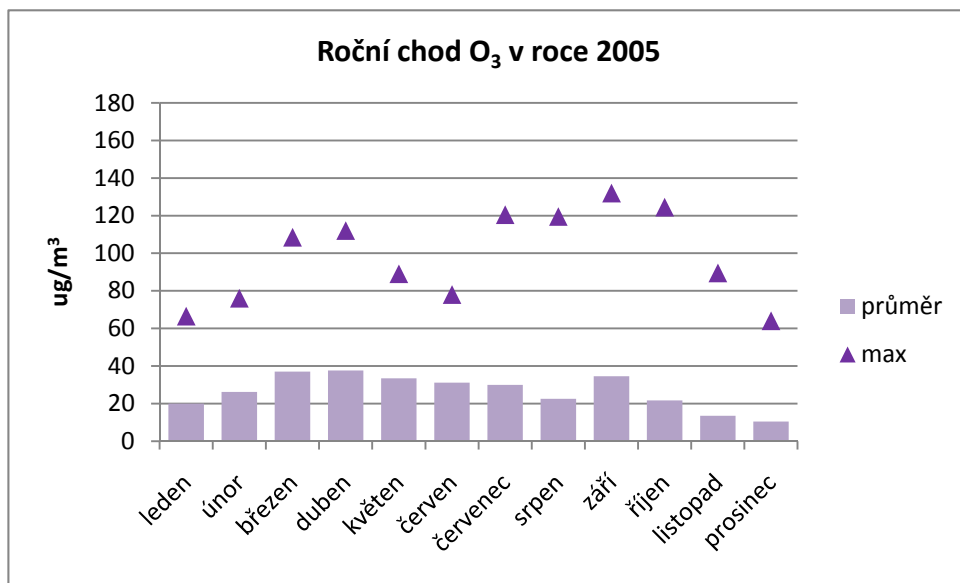


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

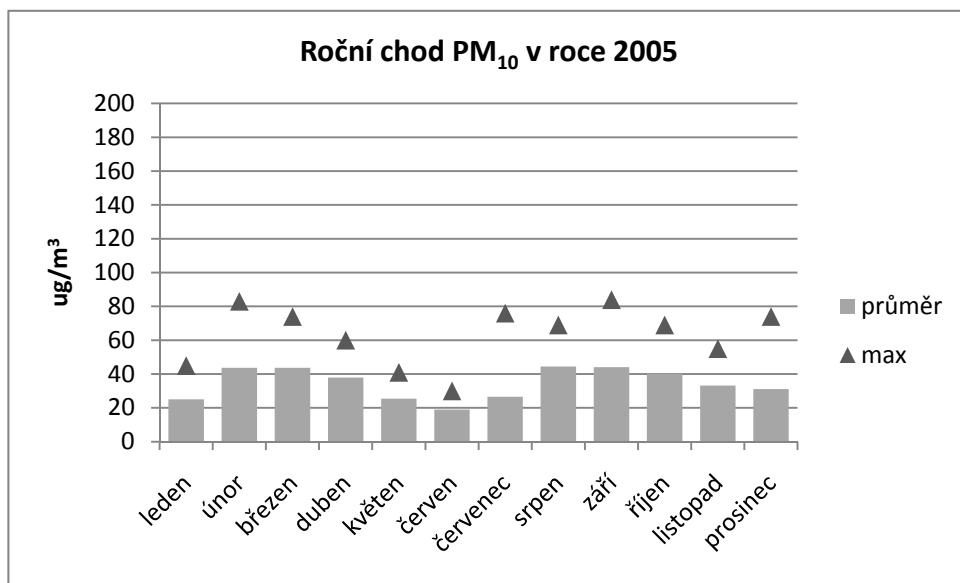


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

Příloha B – pokračování

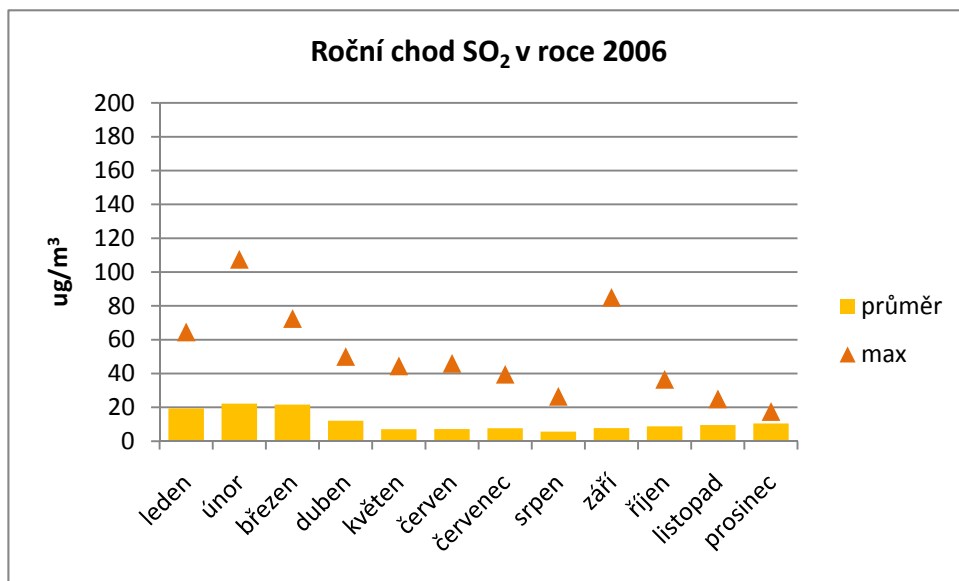


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

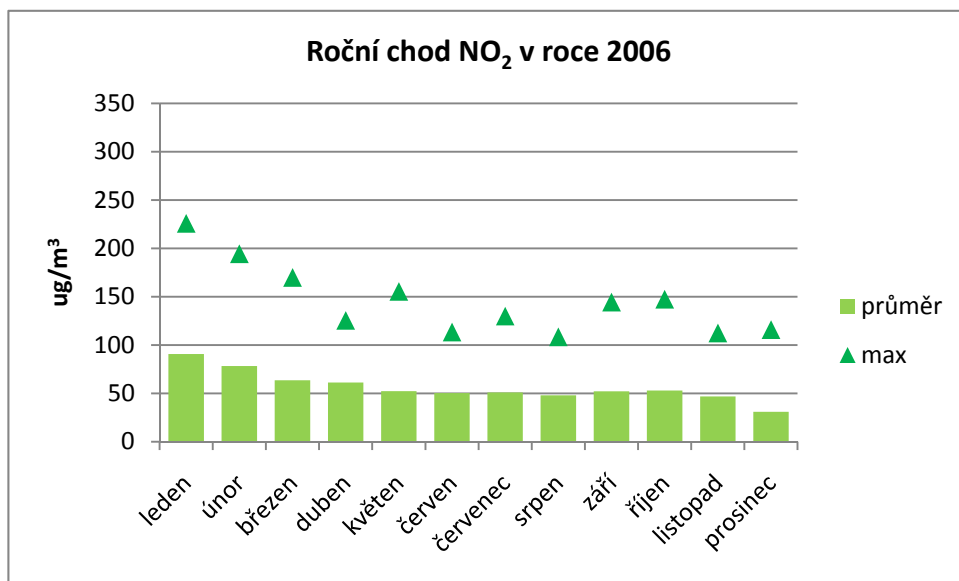


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

Příloha B – pokračování

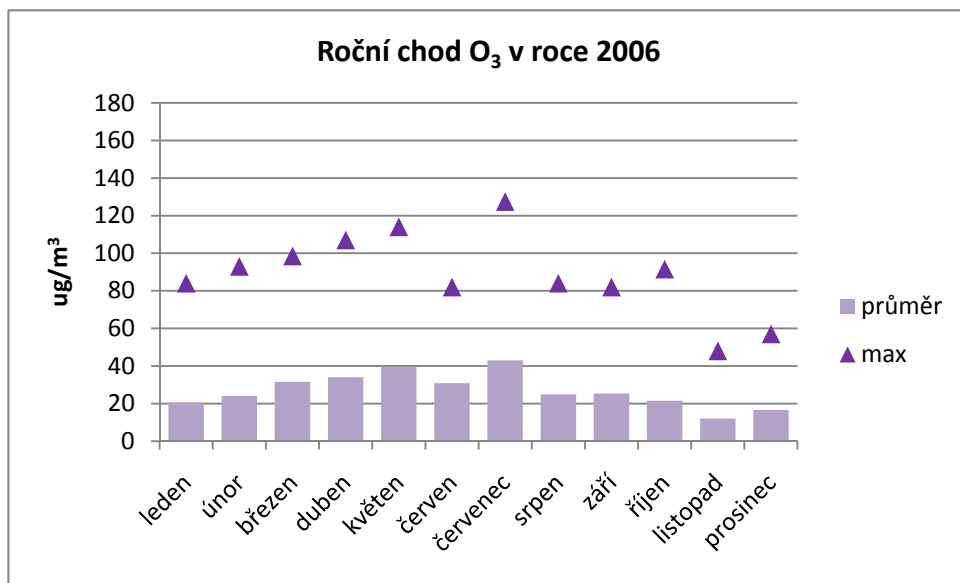


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

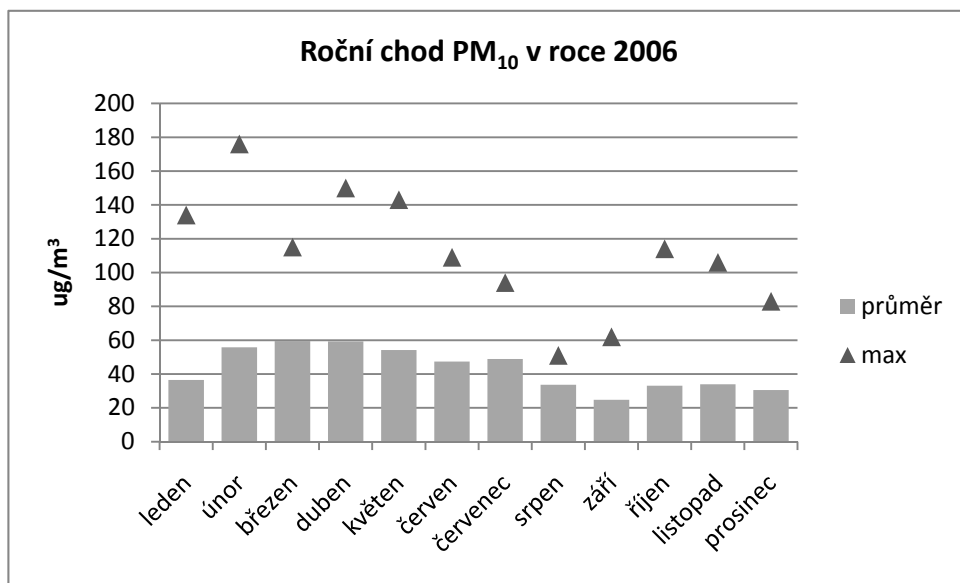


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

Příloha B – pokračování

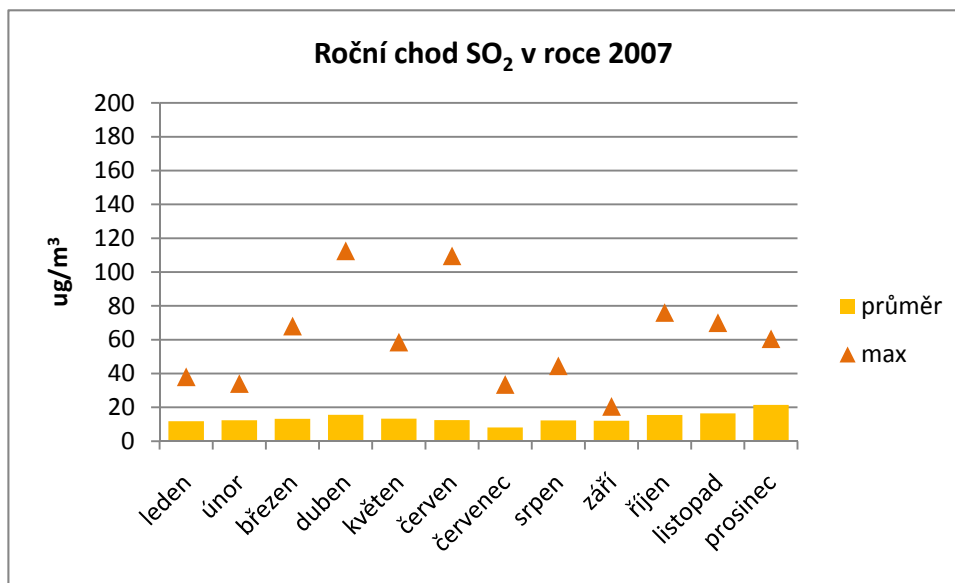


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

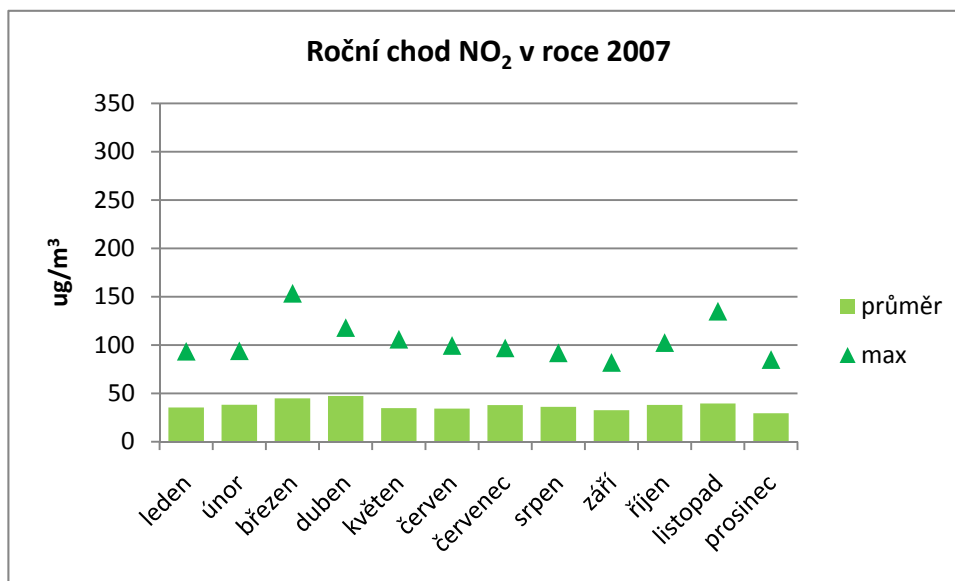


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

Příloha B – pokračování

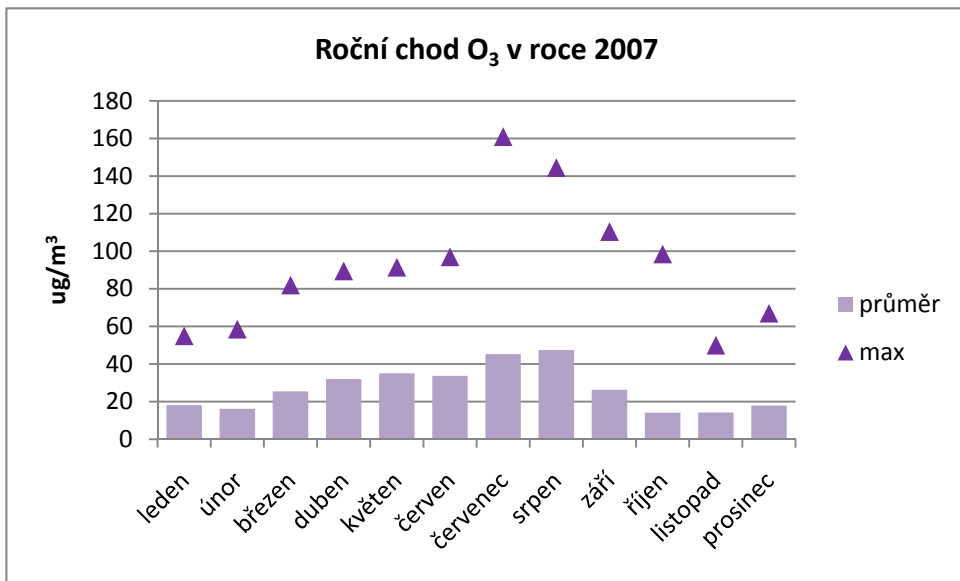


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

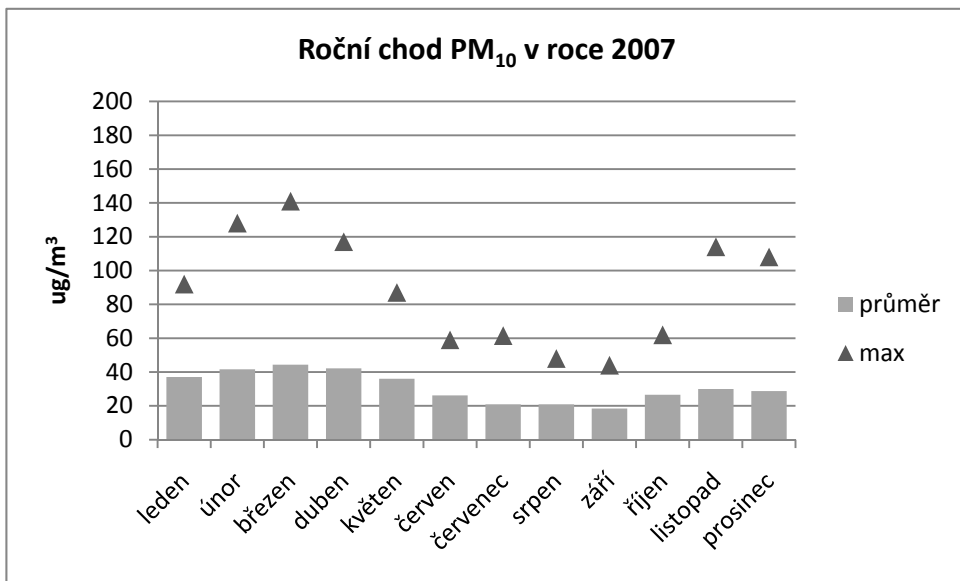


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

Příloha B – pokračování

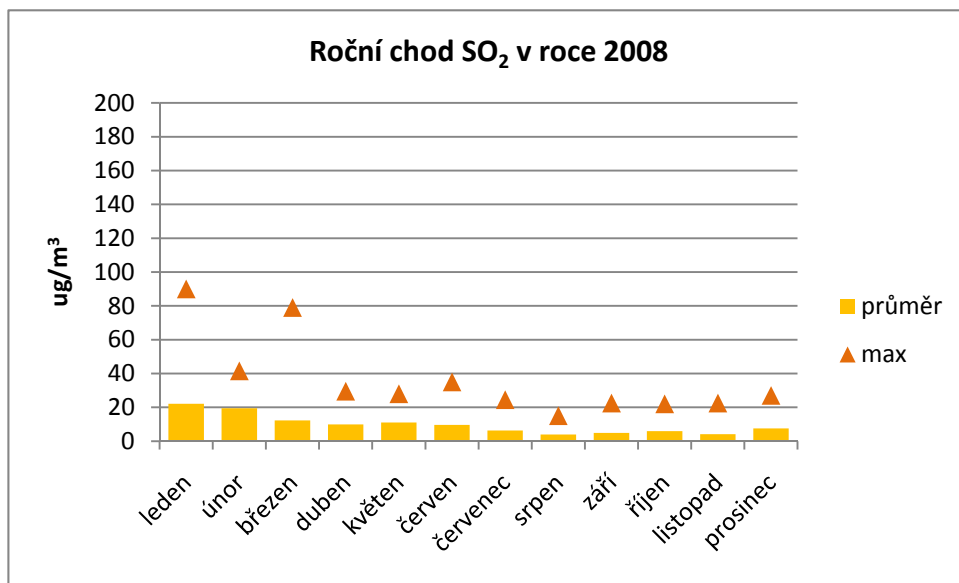


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

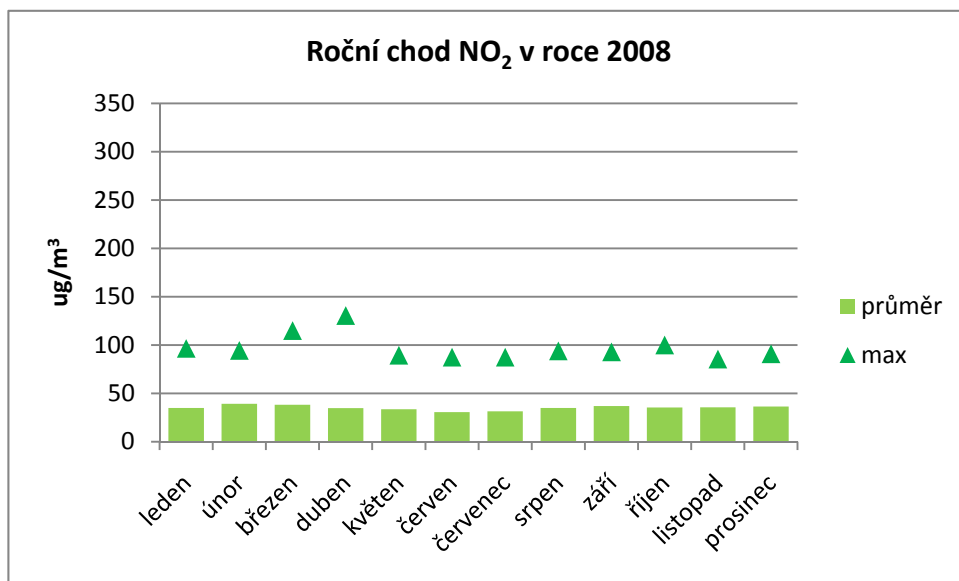


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

Příloha B – pokračování

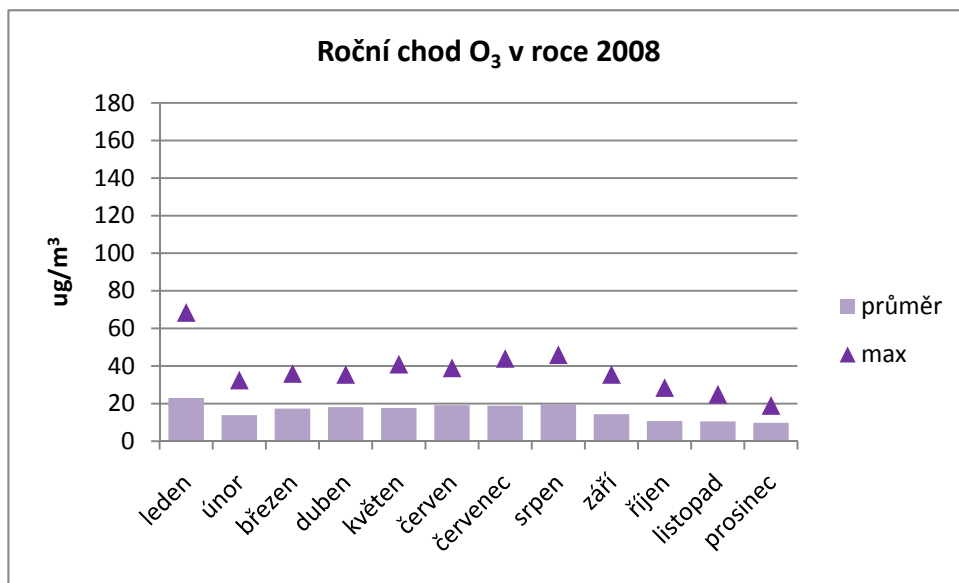


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

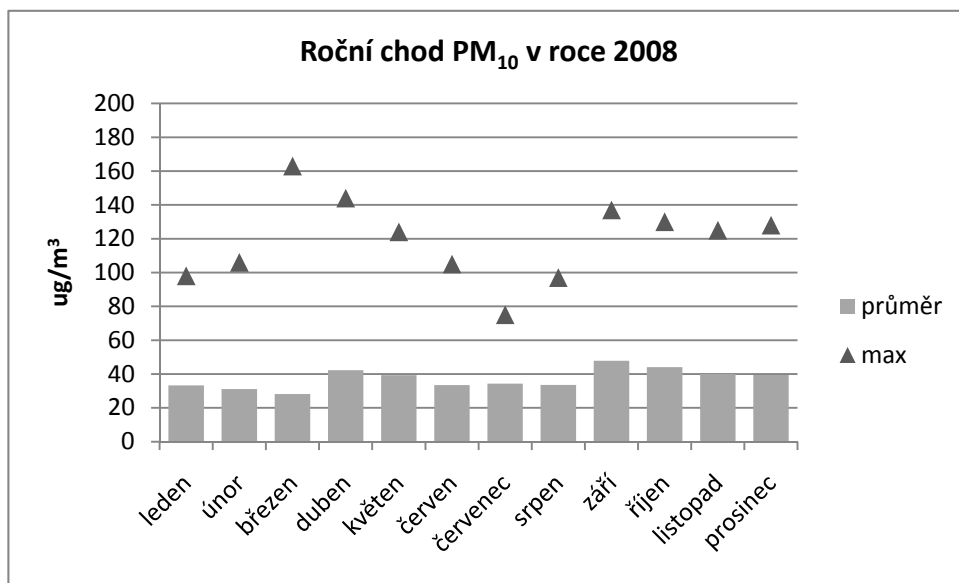


Zdroj dat: Magistrát města Olomouce

Příloha B – pokračování



Zdroj dat: Magistrát města Olomouce



Zdroj dat: Magistrát města Olomouce