

Vliv synoptických situací na koncentrace látek znečišťujících ovzduší v Liberci (severní Čechy, Česká republika)

Influence of synoptic situations on ambient air pollution in Liberec (northern Bohemia, Czech Republic)

Dominik RUBÁŠ

Starý zámek 1/IV, CZ-463 43 Český Dub; e-mail: domrubi@seznam.cz

Abstract. The study presents the influence of synoptic situations on the concentration of ambient air pollutants (SO_2 , NO_2 , PM_{10} , CO , O_3) in the largest city of northern Bohemia – Liberec. This paper identifies five synoptic situations which can significantly increase concentration of air pollutants. Moreover, five synoptic situations in which the pollutant concentrations are significantly lower than the long-term average are also described. This study contributes to prediction of air pollution in a big city based on the prediction of the synoptic situation, and thus to protection of human health.

Key words: human bioclimatology, human biometeorology, synoptic situation, air pollution, Liberec

ÚVOD

V krajském městě Liberec, největším v severních Čechách a pátém nejlidnatějším v České republice, žilo podle údajů Českého statistického úřadu k 31.XII.2014 celkem 102 562 obyvatel. Bioklimatologické studie týkající se takto zalidněných oblastí mají nepochybně svůj přínos. Jejich výsledky mohou velkou měrou přispět k diskuzi o možné ochraně lidského zdraví před vnějšími vlivy, ke kterým imisní situace v dané oblasti zajisté patří. Ačkoliv synoptické situace nejsou dominujícím faktorem ovlivňujícím imisní situaci v regionu, jejich vliv na koncentrace látek znečišťujících ovzduší může být zásadní.

Obecně koncentrace znečišťujících látek v ovzduší závisí na mnoha faktorech. Kromě hlavního faktoru, kterým je množství emisí, to je i potenciál znečištění ovzduší, tedy schopnost atmosféry vytvářet imise (<http://slovník.cmes.cz> 2015). Potenciál znečištění ovzduší úzce souvisí se synoptickou (povětrnostní) situací v daném regionu. Vliv na znečištění ovzduší má také reliéf, který svým tvarem ovlivňuje meteorologické podmínky dané lokality (Bil-Knozova 2003). Tvar reliéfu a druh aktivního povrchu však mohou být antropogenními zásahy výrazně modifikovány, což se promítá v mikro- až mezoklimatickém měřítku. Příkladem může být tzv. tepelný ostrov města (Litschmann & Rožnovský 2005).

Město Liberec je se svou charakteristickou kotlinovou polohou (Ještědský hřbet na jihu a na západě, Jizerské hory na severu a na východě) vhodnou oblastí pro tvorbu přizemních inverzí. Stablní zvrstvení a špatné rozptylové podmínky během těchto převážně zimních situací obecně výrazně zvyšují koncentrace znečišťujících látek v ovzduší. Naopak cyklonální situace s průchody frontálních rozhraní jsou charakteristické dobrými rozptylovými podmínkami a tedy menšími koncentracemi znečišťujících látek v ovzduší.

Cílem této práce je přispět k dosavadním poznatkům o vlivu synoptických situací na znečištění ovzduší v určité oblasti. Konkrétně se tento článek zabývá nalezením vztahů mezi

povětrnostními situacemi a koncentracemi vybraných látek znečišťujících ovzduší: aerosolu (frakce PM_{10}), oxidu siřičitého (SO_2), oxidu dusičitého (NO_2), oxidu uhelnatého (CO) a přízemního ozónu (O_3) ve městě Liberec. Snahou studie je nalezení synoptických situací, během nichž dochází ke zvýšení koncentrací vybraných znečišťujících látek, a stanovení synoptických situací, při kterých je naopak koncentrace znečišťujících látek minimální. Potenciálem dané studie je mj. přispění k predikci období zvýšených koncentrací imisí v Liberci.

METODIKA

Pro účely této studie byla použita meteorologická data a údaje o koncentraci některých látek znečišťujících ovzduší. Přesněji jde o denní data o typu synoptické situace nad územím České republiky v období 2005 až 2014. Jako zdroj těchto dat posloužil kalendář synoptických situací sestavovaný pracovníky Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a dostupný na webových stránkách ČHMÚ (<http://chmi.cz>). Data o denních koncentracích látek znečišťujících ovzduší – aerosolu (PM_{10}), oxidu siřičitého (SO_2), oxidu dusičitého (NO_2), oxidu uhelnatého (CO) a přízemního ozónu (O_3) v období 2005–2014 (u CO 2005–2012) pochází z pozařadové stanice Automatizovaného imisního monitoringu (AIM) v lokalitě Liberec – město. Stanice je lokalizována poblíž centra města Liberec (městská obytná a obchodní zóna), cca 100 m od nákupního centra Forum Liberec v nadmořské výšce 350 m. Nejedná se však o kompletní data. Procentuální podíl chybějících dat v období 2005–2014 (u CO v období 2005–2012) činí pro jednotlivé látky: SO_2 : 1,25 %, PM_{10} : 1,42 %, NO_2 : 1,34 %, CO: 1,06 %, O_3 : 0,79 %. Jedná se však o data neverifikovaná, což mohlo vnést do hodnocení chybu.

Závislost imisí vybraných znečišťujících látek na typu synoptické situace byla pro účely této práce prozkoumána dynamicko-synoptickou metodou (Niedzwiedz & Ustrnul 1989). Princip této metody je následující: nejprve jsou vybrány dny z celého desetiletého zpracovávaného období, pro které je charakteristický určitý typ cirkulace. Posléze se z údajů o koncentracích v těchto dnech vypočte průměrná koncentrace vybraných znečišťujících látek. Následně se zjišťuje (pro každou látku zvlášť), zda na ni má určitý typ synoptické situace koncentrační nebo rozptylující účinek. Pro každý typ synoptické situace je tedy vypočítána jemu odpovídající průměrná koncentrace dané látky. Tato hodnota společně s druhým a třetím kvantilem (soubor všech denních koncentrací dané látky za desetileté/osmileté období) slouží jako objektivní kritérium pro hodnocení vlivu synoptických situací na úroveň znečištění ovzduší. Jestliže je průměrná koncentrace sledované látky během určité povětrnostní situace větší než třetí kvartil analyzovaných dat, je tato synoptická situace uznána za přispívající ke koncentraci. Nastane-li případ, že je průměrná koncentrace menší než druhý kvartil, synoptická situace je uznána za přispívající k disperzi (Knozová 2005).

Charakteristiky vybraných látek znečišťujících ovzduší

Aerosol, dříve označovaný jako polétavý prach, má několik frakcí. Jednou z nich je frakce PM_{10} . Jedná se o aerosol s aerodynamickým průměrem částic do 10 μm . Jde o komplexní směs různých druhů látek (patří sem i saze – tedy uhlík, dále sírany, dusičnany atd.). Aerosol na sebe může sorbovat další atmosférické znečištění (např. polyaromatické uhlovodíky či těžké kovy). Kromě toho slouží částice jako kondenzační jádra oblačnosti.

Oxid siřičitý (SO_2) je bezbarvý plyn s pronikavým dusivým zápachem. Je snadno rozpustný ve vodě, přičemž vzniká kyselina siřičitá. Pokud jsou v ovzduší přítomny ionty kovů, dochází ke katalyzované oxidaci na SO_3 . Pokud tyto ionty přítomny nejsou, dochází působením slunečního záření k pomalejší oxidaci. Hydrolyzovaný SO_3 je vymýván z atmosféry v podobě kyselých dešťů, nehydrolyzovaný se dostává do půdy formou tzv. suché (částicové) deponice jako $(NH_4)_2SO_4$. Dle Braniše & Hůnové (2009) je SO_2 do atmosféry emitován antropogenní činností (především výrobou energie podmíněnou spalováním fosilních paliv a metalurgickým průmyslem). Mezi přirozené zdroje SO_2 patří oxidace sulfanu, vulkanická činnost aj.

Oxid dusičitý (NO_2) je červenohnědý plyn s pronikavým zápachem. Společně s oxidem dusnatým (NO) jsou souhrnně označovány jako oxidy dusíku NO_x . Braniš & Hůnová (2009) uvádějí, že oxid dusičitý je převážně antropogenního původu. Vzniká během vysokoteplotního spalování. Jeho přirozenými zdroji je oxidace atmosférického amoniaku, mikrobiální denitrifikace, elektrické výboje v atmosféře a sopečná činnost. Průpadem je oxidace v atmosféře, přičemž vznikají dusičnany, jež mají vliv na okyselení srážek a životní prostředí.

O oxidu uhelnatém (CO) píše Braniš & Hůnová (2009) jako o indikátoru vzduchu, který byl dříve znečištěn transportem nad městem nebo stepním požárem. CO je relativně pomalu oxidován OH radikálem. V troposféře

setrvává na rozdíl od SO₂ či NO_x cca 1–4 měsíce. Vzniká při spalování za nedostatku kyslíku. Zdrojem jsou motory, tepelné elektrárny atd. Tento plyn nepříznivě působí na krev, mozek i srdce. Kromě jiného je oxid uhelnatý jedním z prekurzorů ozónu.

Ozón (O₃) je jedním ze skleníkových plynů. Kromě účinné absorbce infračerveného záření (troposférický ozón), absorbuje i v oblasti záření ultrafialového, a tím zemský povrch chrání před touto vysokofrekvenční radiací (ozónová vrstva – stratosférický ozón). Přízemní ozón však pro člověka užitečný není, právě naopak. Způsobuje totiž respirační choroby, podráždění sliznic, poškození rostlin (např. žluté skvrny na listech), oxidativní stres organismů a vede i ke zvýšené úmrtnosti. Je též indikátorem tzv. fotochemického (letního, losangelského) smogu. Jedná se o sekundární znečišťující látku, která nemá vlastní významný zdroj. Vzniká z tzv. prekurzorů – NO_x a VOC (těkavé organické látky), jejichž hlavními emisními zdroji jsou doprava, těžba ropy, lesy atd. Koncentrace O₃ rostou se zvyšující se teplotou a slunečním zářením. Ty největší jsou zaznamenávány na horách a v závětrří velkých měst v létě v odpoledních hodinách.

Imisní limity (limitní hodnoty pro ochranu zdraví lidí podle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb.) pro výše popsané látky znečišťující ovzduší jsou zobrazeny v Tabulce 1.

Tabulka 1. Imisní limity pro vybrané znečišťující látky (<http://portal.chmi.cz>). Upravil autor.
Table 1. Limit values for the selected ambient air pollutants (<http://portal.chmi.cz>). Edited by the author.

| Znečišťující látka / Ambient air pollutants | Doba průměrování / Time averaging | Imisní limit [µg.m ⁻³] / Limit value [µg.m ⁻³] |
|--|--|---|
| SO ₂ | 1 hodina / 1 hour | 350 |
| | 24 hodin / 24 hours | 125 |
| NO ₂ | 1 hodina / 1 hour | 200 |
| | kalendářní rok / 1 year | 40 |
| PM ₁₀ | 24 hodin / 24 hours | 50 |
| | kalendářní rok / 1 year | 40 |
| CO | max. denní osmihodinový klouzavý průměr / daily maximum 8-hour moving average | 10 000 |
| O ₃ | max. denní osmihodinový klouzavý průměr / daily maximum 8-hour moving average | 120 |

Typy povětrnostních situací v České republice

V Meteorologickém slovníku výkladovém a terminologickém (<http://slovník.cmes.cz> 2015) je definována povětrnostní (synoptická) situace následovně: „Rozložení vzduchových hmot, atmosférických front, cyklon, anticyklon aj. synoptických objektů, které určují ráz počasí nad určitou velkou geografickou oblastí.“ V mnohých zemích existují typizace povětrnostních situací. V České republice se používá především typizace vytvořená Brádkou et al. (1961), která povětrnostních situací vymezuje celkem 28 (viz Tabulka 2).

Tabulka 2. Typizace synoptických situací podle Brádky et al. (1961).
Table 2. Typification of synoptic situations after Brádka et al. (1961).

| | | | |
|-----|--|-----|---|
| A | Anticyklóna nad střední Evropou / Anticyclone over central Europe | NWa | Severozápadní anticyklonální situace / Northwestern anticyclonic situation |
| Ap1 | Putující anticyklóna č. 1 / Migratory anticyclone no. 1 | NWc | Severozápadní cyklonální situace / Northwestern cyclonic situation |
| Ap2 | Putující anticyklóna č. 2 / Migratory anticyclone no. 2 | Sa | Jižní anticyklonální situace / Southern anticyclonic situation |
| Ap3 | Putující anticyklóna č. 3 / Migratory anticyclone no. 3 | SEa | Jihovýchodní anticyklonální situace / Southeastern anticyclonic situation |

| | | | |
|-----|--|------|--|
| Ap4 | Putující anticyklóna č. 4 / Migratory anticyclone no. 4 | SEc | Jihovýchodní cyklonální situace / Southeastern cyclonic situation |
| B | Brázda nízkého tlaku nad střední Evropou / Trough of low pressure over central Europe | SWa | Jihozápadní anticyklonální situace / Southwestern anticyclonic situation |
| Bp | Brázda postupující přes střední Evropu / Trough moving over central Europe | SWc1 | Jihozápadní cyklonální situace č. 1 / Southwestern cyclonic situation no. 1 |
| C | Cyklóna nad střední Evropou / Cyclone over central Europe | SWc2 | Jihozápadní cyklonální situace č. 2 / Southwestern cyclonic situation no. 2 |
| Cv | Výšková cyklóna / Upper cyclone | SWc3 | Jihozápadní cyklonální situace č. 3 / Southwestern cyclonic situation no. 3 |
| Ea | Východní anticyklonální situace / Eastern anticyclonic situation | Vfz | Vchod frontální zóny / Frontal zone entrance |
| Ec | Východní cyklonální situace / Eastern cyclonic situation | Wa | Západní anticyklonální situace / Western anticyclonic situation |
| Nc | Severní cyklonální situace / Northern cyclonic situation | Wal | Západní anticyklonální situace letního typu / Western anticyclonic summer-type situation |
| NEa | Severovýchodní anticyklonální situace / Northeastern anticyclonic situation | Wc | Západní cyklonální situace / Western cyclonic situation |
| NEc | Severovýchodní cyklonální situace / Northeastern cyclonic situation | Wcs | Západní cyklonální situace s jižní drahou / Western cyclonic situation with southern path |

VÝSLEDKY

Imise vybraných látek během daných synoptických situací

Výsledky této práce jsou shrnuty v Tabulce 3. Červenou barvou jsou v ní zvýrazněny hodnoty koncentrací, které přesahují 3. kvartil. Jedná se o hodnoty během synoptických situací, které přispívají ke zvýšení koncentrace dané látky. Naopak zelenou barvou jsou v téže tabulce označeny hodnoty koncentrací nižších, než je hodnota 2. kvartilu. Ty nastávají během synoptických situací přispívajících k disperzi dané znečišťující látky v ovzduší. Pro lepší názornost je přiložen Obr. 1, ve kterém jsou údaje z Tabulky 3 zpracovány v grafické podobě.

Z Tabulky 3 a Obr. 1 je patrné, že synoptické situace A, Ap4, Ea, tedy situace anticyklonálního charakteru, přispívají ke zvýšení koncentrace čtyř sledovaných látek znečišťujících ovzduší. Povětrnostní situace SEa, SEc přispívají ke zvýšení koncentrace tří sledovaných látek.

Naopak dobré rozptylové podmínky a koncentrace látek menší než je hodnota 2. kvartilu alespoň u tří analyzovaných látek nastávají během synoptických situací C, Nc, NEc, Nwc, Wal, Wc. Jedná se o situace cyklonálního charakteru. Výjimku tvoří situace Wal.

Imise PM_{10} , Jak vyplývá z Tabulky 3, koncentrace aerosolu (PM_{10}) jsou na typu synoptické situace poměrně značně závislé. Největší znečištění tímto aerosolem nastává během situace Ea. 3. kvartil byl roven $34.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, přičemž u této synoptické situace byla průměrná koncentrace $51.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Další synoptické situace provázené vyššími koncentracemi aerosolu v ovzduší jsou Ap4, SEc, SEa, A, Ec. Je zřejmé, že největší koncentrace poléťavého prachu nastávají při situacích s advekcí z východních směrů (ke koncentraci v tomto případě přispívají též cyklonální situace SEc, Ec). Kontinentální vzduch tehdy přináší poléťavý prach, jehož rozptyl probíhá, vzhledem k subsidenčním pohybům, malé rychlosti větru a častým inverzním

zvrstvením přízemní vrstvy atmosféry, velmi pomalu. Zmíněné tři podmínky neplatí u SEc a Ec. Zde má primární roli již zmiňovaná advekce kontinentálního vzduchu.

Naopak nejnižší koncentrace PM_{10} nastávají během situací NWc, Nc, Wc, C a SWc3, tedy během situací s převládající severní a západní advekcí. Příčinou je relativně vlhký oceánský vzduch a dobré rozptylové podmínky během cyklonálních situací (výstupné proudy, přechod frontálních rozhraní se silnějším větrem a srážkami).

Imise NO_2 . Nejvyšší koncentrace oxidu dusičitého jsou zaznamenávány během povětrnostních situací Ap4, Ea, A, Wa. Opět se tedy jedná o anticyklonální situace, tentokrát však již koncentrace nejsou tolik závislé na směru advekce. Nejnižší koncentrace NO_2 (do $21.5 \mu g \cdot m^{-3}$) nastávají během situací NEc, SWc3, Nc, NWc. Jedná se o situace cyklonální, tedy situace s dobrými rozptylovými podmínkami. Ani zde nehraje směr advekce takovou roli, jako u koncentrací aerosolu.

Imise CO. Maximální imise CO se v Liberci vyskytují během synoptické situace Ea ($691.8 \mu g \cdot m^{-3}$). Následují situace Ap4, SEc, Vfz, SEa, A, kdy průměrné koncentrace přesahují $525 \mu g \cdot m^{-3}$, tedy hodnotu 3. kvartilu. Situace nejvýrazněji přispívající ke koncentraci CO se tedy nápadně shodují se situacemi přispívajícími ke koncentraci PM_{10} . Nejnižší imise nastávají během situací Wal, NWc, Nc, NEc, Wc. Během těchto situací koncentrace nedosahují hodnot větších, než je hodnota 2. kvartilu.

Imise SO_2 . Jednoznačně nejhorší rozptylové podmínky pro oxid siřičitý nastávají během synoptické situace Ap4 ($11.76 \mu g \cdot m^{-3}$), přičemž hodnota 3. kvartilu je $6.35 \mu g \cdot m^{-3}$. Další situace s vyššími koncentracemi SO_2 jsou Ea, Vfz, SEa, A, SEc, Ap3, Nwa. Advekce vzduchu není tudíž tolik důležitá. Největší koncentrace nastávají během anticyklonálních situací společně se situací Vfz. Podle Atlasu životního prostředí Libereckého kraje (Košková et al. 2008) je přibližně 15% podíl na celkové imisi SO_2 v Liberci způsoben emisemi z polské tepelné elektrárny Turów, která se nachází cca 23 km sz. od města. To může být možným vysvětlením faktu, že situace Nwa přispívá ke koncentraci jediné látky – právě SO_2 . Z Tabulky 3 vyplývá, že nejnižší koncentrace SO_2 nastávají během synoptické situace Wal. V tomto případě to však není způsobeno danou situací, nýbrž faktem, že situace Wal nastává pouze v letních měsících, kdy jsou emise SO_2 nejnižší.

Imise O_3 . Vliv synoptických situací na koncentrace O_3 není tolik významný jako u předchozích látek. Největší imise nastávají během letní situace Wal. Nejnižších hodnot koncentrací se dostává během situace SEc, Wa, Vfz, Ea. Přízemní ozón má opačný roční chod než ostatní čtyři analyzované látky. Jeho největší koncentrace nastávají v letních měsících, nejnižší v měsících zimních. Tento fakt vyvrací vliv situace Wal na koncentrace O_3 . Tato situace se vyskytuje totiž téměř pouze v letních měsících (tedy v měsících s největšími koncentracemi přízemního ozónu).

Synoptické situace vedoucí ke zvýšení imisních koncentrací

V této práci bylo vymezeno celkem pět synoptických situací, které přispívají ke zvýšení koncentrace alespoň tří sledovaných látek znečišťujících ovzduší. Jedná se o čtyři situace anticyklonální (A, Ap4, Ea, SEa) a o jednu situaci cyklonální (SEc).

Synoptická situace A (anticyklóna nad střední Evropou) přispívá ke koncentraci SO_2 , PM_{10} , NO_2 , a CO, tedy 80% sledovaných látek. Dlouhodobě se tato situace nejčastěji vyskytuje v říjnu, září a prosinci. Její dlouhodobý výskyt v zimních měsících je z hlediska imisní situace velmi nepříznivý. Silné subsidenční pohyby spjaté s inverzními situacemi

zapříčiňují zvýšené koncentrace škodlivých látek v nižších polohách – viz Obr. 2. Na něm je patrná nízká inverzní oblačnost s „oblačnou čapkou“ nad tepelnou elektrárnou v Horních Počaplech u Mělníka. Oblaky z chladících věží ve svém vertikálním pohybu doslova narážejí do husté inverzní oblačnosti. Stabilní zvrstvení je však výrazné a oblakům brání v proniknutí do vyšších vrstev troposféry. Obrázek byl pořízen 8.I.2009.

Synoptická situace Ap4 (putující anticyklóna č. 4) přispívá ke koncentraci stejných látek, jako situace A, přičemž koncentrace v tomto případě dosahují ještě vyšších hodnot. Během této situace v zimní polovině roku vzniká velmi hustá nízká inverzní oblačnost, která se z pohledu z vyšších pohoří jeví jako oblačné moře – viz Obr. 3. Na zmiňovaném obrázku z 30.XII.2010 vidíme souvislý stratus nad Českou kotlinou, jehož horní vrstva leží v nadmořské výšce cca 600 m. V nižších polohách převládá chladné, sychravé počasí s velmi špatnými rozptylovými podmínkami. Např. denní koncentrace SO_2 ve stanici Liberec–město toho dne více než pětinasobně převyšovaly roční (2010) průměr! Naštěstí se tato synoptická situace vyskytuje jen velmi zřídka.

Synoptická situace Ea (východní anticyklonální situace), stejně jako situace A a Ap4, přispívá ke zvýšení koncentrací SO_2 , PM_{10} , NO_2 a CO. Na rozdíl od předchozích tato povětrnostní situace již s tvorbou nízké inverzní oblačnosti tolik spjata nebývá. Dlouhodobě se vyskytuje nejčastěji v březnu. Nárůst koncentrací imisí (především PM_{10}) během této situace je kromě subsidence či malých rychlostí větru zapříčiněn také advekcí kontinentálního vzduchu z východu, jež přináší polétavý prach. I studie z ostatních částí Evropy potvrzují, že nejhorší rozptylové podmínky nastávají během anticyklonálních situací s advekcí kontinentálního vzduchu (Knozová 2005).

Synoptická situace SEa (jihovýchodní anticyklonální situace) přispívá ke zvýšení koncentrací SO_2 , PM_{10} a CO. Svým charakterem je podobná situaci Ea a nastává během ní jihovýchodní advekce kontinentálního vzduchu. Nevyskytuje se ovšem tak často.

Synoptická situace SEc (jihovýchodní cyklonální situace) přispívá ke zvýšení koncentrací stejných látek jako výše popsána situace SEa.

Synoptické situace vedoucí k rozptylu imisí

Ze všech synoptických situací nastávají nejlepší rozptylové podmínky během situace Wal (západní anticyklonální situace letního typu). Ta však nastává pouze v letních měsících s nízkými emisemi, a proto její vliv na koncentrace imisí nelze posoudit jako signifikantní. Velmi nízké koncentrace látek znečišťujících ovzduší nastávají přirozeně během situací cyklonálních (C, Nc, NEc, NWc, Wc). Při každé z nich jsou koncentrace nižší, než je 2. kvartil u tří sledovaných látek. Obecně nízké koncentrace znečištění při těchto cirkulačních typech jsou způsobeny silnějším větrem a srážkami (spojenými s přechodem frontálních vln), které pročišťují vzduch mechanickým způsobem. Obecně největší disperzní vliv mají cyklonální situace s advekcí vzduchu ze severních a západních směrů.

DISKUZE A ZÁVĚR

Výsledky prezentované studie prokázaly závislost koncentrací PM_{10} , NO_2 , SO_2 a CO na synoptických situacích. Bylo zjištěno, že koncentrace těchto látek rostou převážně během anticyklonálních situací. Pro imise aerosolu je navíc významná advekce z východních směrů, během níž nastávají nejvyšší koncentrace. Tato advekce je v tomto případě natolik významná,

že k situacím přispívajícím ke zvýšení koncentrace PM_{10} patří i východní cyklonální situace a jihovýchodní cyklonální situace. Obecně však bylo prokázáno, že cyklonální situace jsou charakteristické dobrými rozptylovými podmínkami a koncentrace znečištění jsou během nich relativně malé. Důvodem jsou četná frontální rozhraní, která jsou s těmito situacemi spojena. Díky výraznému barickému gradientu během nich, který je spojený s vyššími rychlostmi větru, dochází k dobrým rozptylovým podmínkám neumožňujícím výrazné znečištění ovzduší. Naopak anticyklonální charakter počasí, doprovázený subsidenčními pohyby v atmosféře a spojený s vyrovnaným barickým polem (nižší rychlost větru), je provázán s vyššími koncentracemi látek znečišťujících ovzduší v daném regionu.

Synoptické situace, které nejvíce přispívají k dobrému rozptylu znečišťujících látek, jsou Wc, NWc, NEc, Nc, C. Naopak synoptickými situacemi, podporujícími zvýšenou koncentraci imisí v atmosféře, jsou A, Ap4, Ea, SEa, SEc.

Na tomto místě je nutno také podotknout, že koncentrace znečišťujících látek, naměřené v AIM v lokalitě Liberec–město, mohly být po určité období ovlivněny silnou antropogenní činností v okolí stanice ve sledovaném období. Od března 2009 pouhých několik desítek metrů od stanice AIM probíhala demolice obchodního domu Ještěd, po které následovala v dalších měsících v téže lokalitě výstavba druhé části obchodního a zábavního centra Forum Liberec. To bylo otevřeno v září 2010 a zaujímá plochu cca 2 ha.

Vliv synoptických situací na koncentrace analyzovaných látek znečišťujících ovzduší byl kromě přízemního ozónu prokázán i přesto, že studie analyzuje z klimatologického hlediska velmi krátké časové období (10 let, u CO 8 let). Určitým nedostatkem je také fakt, že práce ve svých analýzách nezohledňuje emise znečišťujících látek. Přesto však může studie kromě jiného posloužit ke zlepšení předpovědi koncentrací znečišťujících látek ve městě Liberec na základě predikce synoptických situací.

Poděkování. Autor děkuje za užitečné informace Doc. RNDr. Ivě Hůnové, CSc.

LITERATURA

- BIL-KNOZOVA G. 2003: Změny meteorologických podmínek koncentrace nebo rozptylu znečištění ovzduší na stanicích Katovice, Krakov a Bielsko-Biala. (Changes in meteorological conditions of air pollution concentration and diffusion at the station Katowice, Cracow and Bielsko-Biala). *Meteorologické Zprávy* **56(2)**: 45–51 (in Czech, English abstract).
- BRÁDKA J., DŘEVIKOVSKÝ A., GREGOR Z. & KOLESÁR J. 1961: *Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích*. Hydrometeorologický ústav, Praha, 126 pp.
- BRANIŠ M. & HŮNOVÁ I. (eds) 2009: *Atmosféra a klima – aktuální otázky ochrany ovzduší*. Univerzita Karlova v Praze, Praha, 351 pp.
- KNOZOVÁ G. 2005: Vliv povětrnostních situací na velikost znečištění ovzduší v České republice. In: ROŽNOVSKÝ J. & LITSCHMANN T. (eds): *Bioklimatologie současnosti a budoucnosti*. Křtiny, 12.–14.IX.2005. Online at: <http://www.cbks.cz/sbornik05b/Knozova.pdf> (accessed 3 March 2015).
- KOŠKOVÁ I., MODRÝ M. & ŠMÍDA J. 2008: *Atlas životního prostředí Libereckého kraje*. Liberecký kraj, Liberec, 44 pp.
- LITSCHMANN T. & ROŽNOVSKÝ J. 2005: Příspěvek ke studiu městského klimatu v Brně. Pp. 331–342. In: *Transport vody, chemikálií a energie v systému půda-rastlina-atmosféra*. Ústav hydrologie a Geofyzikální ústav SAV, Bratislava.
- NIEDŹWIEDŹ T. & USTRNUL Z. 1989: Wpływ sytuacji synoptycznych na występowanie nad Górnośląskim Okręgiem Przemysłowym typów pogody sprzyjającej koncentracji lub rozpraszaniu zanieczyszczeń powietrza. *Wiadomości IMGW* **12(33)**: 31–39.

Další internetové zdroje:

Český hydrometeorologický ústav. Online at: <http://www.chmi.cz> (accessed 3 July 2015).

Český statistický úřad. Online at: <http://www.czso.cz> (accessed 1 June 2015).

Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), ČMeS. Online at: <http://slovník.cmes.cz> (accessed 5 May 2015).

SUMMARY

The paper brings new findings in the field of human bioclimatology. Studies dealing with the influence of synoptic situations on the concentration of ambient air pollutants are very a important aspect of the knowledge leading towards the conservation of human health in spite of external influences. This paper is mainly focused on the influence of synoptic situations on the concentrations of SO₂, NO₂, PM₁₀, CO and O₃ in the largest city of northern Bohemia – Liberec.

In the period 2005–2014, the correlation between synoptic situations and concentrations of the given substances was investigated by means of a dynamic-synoptic method. There were 5 synoptic situations, during which the concentrations of air polluting substances grew considerably: Anticyclone over central Europe, Migratory anticyclone no. 4, Eastern anticyclonic situation, Southeastern anticyclonic situation, Southeastern cyclonic situation. During those synoptic situations the amount of SO₂, PM₁₀, NO₂ and CO in the air grew significantly. The highest concentrations occur during winter, when the emissions of these substances are at their peak. The imissions of aerosol are considerable during advection from the east. During this advection the concentration of aerosol is also at its peak. An inverse effect was found in the concentration of O₃ – peak concentrations occur in summer. The influence of synoptic situation on the concentration of O₃ was not proved in this study.

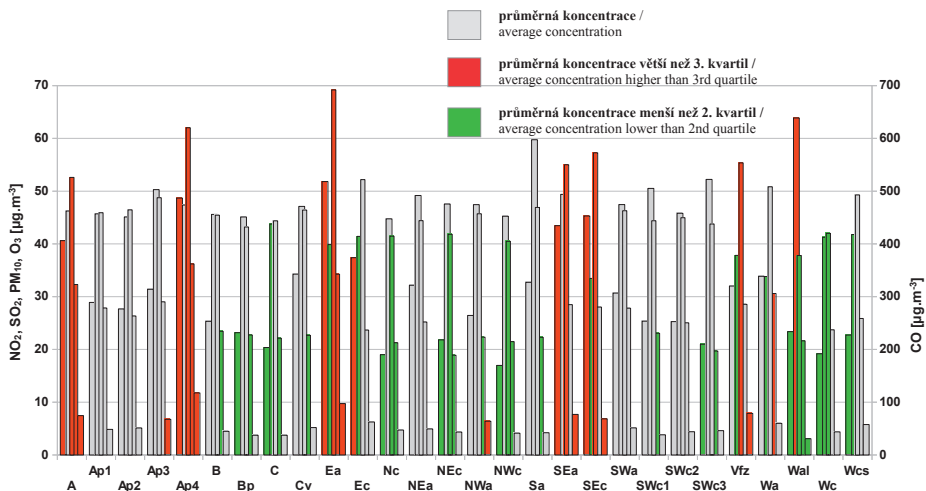
Moreover, 5 synoptic situations during which the concentrations of air polluting substances are considerably lowered were also found. The best dispersion conditions occur during the Western anticyclonic summer-type situation that arises only in the summer months with lowered emissions. Thus its effect on the concentration of imissions cannot be taken as significant. On the contrary, it has been proved that cyclonal situations help the dispersion conditions. They include: Cyclone over central Europe, Northern cyclonic situation, North-eastern cyclonic situation, Northwestern cyclonic situation and Western cyclonic situation. It has been shown that they are cyclonal situations with advection of air from the north that have the biggest influence on the dispersion conditions. This is a result of numerous frontal interfaces, higher wind speeds and great total rainfalls that also help to clean the air.

This study proves the existing effect of synoptic situations on the concentrations of most of the analyzed air polluting substances (except for O₃) even though, from the climatology point of view, it is based on short-term data. Another flaw is the fact that the study does not take into account emissions of the air polluting substances. In spite of those weak points, the results of this study can help to provide better predictions of the concentration of air polluting substances in Liberec based on the prediction of synoptic situations.

Tabulka 3. Koncentrace znečištění při synoptických situacích, Liberec–město, 2005–2014 (CO 2005–2012).
Table 3. Pollutant concentrations during synoptic situations, Liberec–City, 2005–2014 (CO 2005–2012).

| | PM ₁₀ | NO ₂ | CO | O ₃ | SO ₂ |
|--|--|-----------------------|---------------|----------------------|-----------------------|
| 10-letý denní průměr [μg.m⁻³] / daily average for 10 years [μg.m⁻³] | 27,98 | 24,78 | 464,73 | 45,69 | 5,14 |
| 1. kvartil [μg.m⁻³] / 1st quartile [μg.m⁻³] | 16,1 | 17,6 | 351,3 | 29,5 | 1,9 |
| 2. kvartil [μg.m⁻³] / 2st quartile [μg.m⁻³] | 23,9 | 23,5 | 421,6 | 44,4 | 3,6 |
| 3. kvartil [μg.m⁻³] / 3st quartile [μg.m⁻³] | 34,3 | 30,4 | 525 | 60,2 | 6,35 |
| | průměrná koncentrace při synoptické situaci [μg.m⁻³] / average concentration during the synoptic situation [μg.m⁻³] | | | | |
| synoptická situace / synoptic situation | PM₁₀ | NO₂ | CO | O₃ | SO₂ |
| A | 40,62 | 32,31 | 526,10 | 46,24 | 7,45 |
| Ap1 | 28,92 | 27,85 | 459,01 | 45,69 | 4,85 |
| Ap2 | 27,66 | 26,34 | 464,54 | 45,11 | 5,11 |
| Ap3 | 31,40 | 29,02 | 487,54 | 50,29 | 6,76 |
| Ap4 | 48,69 | 36,20 | 620,23 | 47,37 | 11,76 |
| B | 25,32 | 23,44 | 454,39 | 45,59 | 4,48 |
| Bp | 23,18 | 22,74 | 432,01 | 45,10 | 3,73 |
| C | 20,37 | 22,12 | 443,75 | 43,77 | 3,73 |
| Cv | 34,27 | 22,67 | 464,15 | 47,11 | 5,19 |
| Ea | 51,82 | 34,26 | 691,82 | 39,88 | 9,74 |
| Ec | 37,39 | 23,66 | 521,94 | 41,43 | 6,24 |
| Nc | 19,01 | 21,27 | 414,68 | 44,76 | 4,72 |
| NEa | 32,16 | 25,20 | 444,15 | 49,18 | 4,93 |
| NEc | 21,81 | 18,90 | 418,17 | 47,56 | 4,34 |
| NWa | 26,45 | 22,34 | 457,16 | 47,45 | 6,40 |
| NWc | 16,97 | 21,48 | 404,96 | 45,24 | 4,12 |
| Sa | 32,72 | 22,29 | 469,09 | 59,75 | 4,21 |
| SEa | 43,46 | 28,49 | 550,08 | 49,39 | 7,68 |
| SEc | 45,29 | 28,03 | 572,67 | 33,46 | 6,85 |
| SWa | 30,68 | 27,81 | 462,91 | 47,46 | 5,13 |
| SWc1 | 25,35 | 23,06 | 443,99 | 50,52 | 3,82 |
| SWc2 | 25,27 | 25,04 | 449,70 | 45,81 | 4,40 |
| SWc3 | 20,99 | 19,71 | 437,78 | 52,23 | 4,60 |
| Vfz | 32,02 | 28,55 | 553,53 | 37,83 | 7,88 |
| Wa | 33,86 | 30,60 | 508,35 | 33,82 | 5,99 |
| Wal | 23,37 | 21,63 | 378,03 | 63,87 | 3,08 |
| Wc | 19,18 | 23,71 | 420,07 | 41,24 | 4,37 |
| Wcs | 22,72 | 25,87 | 492,88 | 41,78 | 5,76 |

| | |
|--|--|
| | průměrná koncentrace / average concentration |
| | průměrná koncentrace větší než 3. kvartil / average concentration higher than 3rd quartile |
| | průměrná koncentrace menší než 2. kvartil / average concentration lower than 2nd quartile |



Obr. 1. Koncentrace znečištění při synoptických situacích (sloupce zleva: PM_{10} , O_3 , CO , NO_2 , SO_2), Liberec–město, 2005–2014 (u CO 2005–2012).

Fig. 1. Pollutant concentrations during synoptic situations (columns: PM_{10} , O_3 , CO , NO_2 , SO_2), Liberec–City, 2005–2014 (CO 2005–2012).



Obr. 2. Počasí během synoptické situace A.

Foto: David Rubáš.

Fig. 2. The weather during the synoptic situation A.

Photo by David Rubáš.



Obr. 3. Počasí během synoptické situace Ap4.

Foto autor.

Fig. 3. The weather during the synoptic situation Ap4.

Photo by the author.