

HODNOTENIE KVALITY OVZDUŠIA NA SLOVENSKU V ROKOCH 2004 AŽ 2012 PODĽA METODIKY EURÓPSKEJ ÚNIE

Hana Stanková, Alexandra Benová, Radoslav Chudý, Martin Iring, Richard Feciskanin, Miroslav Kožuch, Eva Mičietová, Jerguš Moravčík, Vladimír Pelech, Tomáš Schmidt, Juraj Vališ

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra kartografie, geoinformatiky a diaľkového prieskumu Zeme, e-mail: stankova@fns.uniba.sk

Abstract: Air quality is normally assessed through the exceedance of limit values for individual pollutants in a certain time period. For the purpose of informing the public about air quality, as well as planning and decision making in the state or public administration, complex influence of pollutants can be expressed by means of air quality indices. In European Union, common methodics for evaluating and comparing urban air quality has been operational since 2006, however, in Slovak Republic it has not yet been implemented. In this study we focused on long-term air quality expressed by the Year Average Common Air Quality Index (YACAQI) evaluated for the years 2004 to 2012, considering the long-term exposure to air pollution has the worst health effects. According to YACAQI, the air quality in Slovakia has generally improved since 2004. The worst air quality was recorded in the years 2004 to 2006 followed by the air quality improvement in the years 2007 to 2010 related to world economic crisis and decrease of the industrial production capacity. The most problematic parts of Slovakia considering air pollution are located in Horná Nitra and south of Košice. The most serious hazard for inhabitants was identified in the regional capital Nitra in 2004, when area with poor air quality covered 11 % of built-up territory, resulting in more than 9000 inhabitants at risk. Air quality data for the whole territory of Slovakia are published on the map portal of the Comenius University in Bratislava Science Park.

Key words: air pollution, environmental health, Slovak Republic, air quality index, YACAQI, European Union

1 ÚVOD

Znečistenie ovzdušia stále predstavuje hrozbu pre životné prostredie a pre zdravie obyvateľstva nielen v rozvojových krajinách, ale aj vo vyspelých krajinách Európskej únie. Aj v súčasnosti dochádza vplyvom nepriaznivých rozptylových podmienok k vzniku smogových situácií, ako tomu bolo napr. v marci roku 2015 v Paríži alebo koncom januára 2010 v oblasti Ostravsko-Karvinska (Blažek et al., 2010).

Najväčší problém v Slovenskej republike (SR) predstavuje prekračovanie limitných hodnôt priemerných denných koncentrácií polietavého prachu PM_{10} (Závodský, 2010). Takisto podľa nedávnej štúdie vedcov z medzinárodného inštitútu pre aplikované systémové analýzy (IIASA) v Rakúsku bude predovšetkým znečistenie ovzdušia jemnými prachovými časticami spôsobovať problémy aj v budúcnosti na mnohých miestach Európy (Kiesewetter et al., 2015).

Preto je neustále potrebné sledovať a hodnotiť kvalitu ovzdušia a získané informácie sprístupňovať pre verejnosť. Z hľadiska zdravotného rizika je dôležité posudzovať spoločné pôsobenie znečisťujúcich látok, keďže ľudia sú zriedka vystavení iba pôsobeniu jednej z nich (Mayer et al., 2008). Jedným z nástrojov komplexného hodnotenia znečistenia ovzdušia viacerými znečisťujúcimi látkami sú indexy kvality ovzdušia, ktoré prostredníctvom jednej číselnej hodnoty komunikujú informácie o kvalite ovzdušia pre rozhodovacie orgány štátnej a verejnej správy alebo pre širokú verejnosť (de Leeuw a Mol, 2005). Existuje viacero metód výpočtu indexov kvality ovzdušia, ktoré obyčajne rešpektujú národné štandardy ochrany ovzdušia. Krátkodobé aj dlhodobé indexy vypočítané podľa metodiky platnej v Európskej únii (EÚ) sa zverejňujú na stránke Air Quality in Europe (<http://www.airqualitynow.eu/>), slovenské mestá však medzi nimi chýbajú. Z okolitých krajín sú dostupné informácie o kvalite ovzdušia len pre české mestá Brno a Praha a pre niektoré mestá južného Poľska.

Hustejšiu sieť miest prezentuje na svojej stránke čínsky projekt World Air Quality Index (<http://waqi.info/>), ktorý hodnotí kvalitu ovzdušia podľa metodiky americkej agentúry U. S. EPA (United States Environmental Protection Agency). Nedávno spustený startup Plume Labs takisto na svojej stránke Plume Air Report (<https://air.plume-labs.com/>) poskytuje globálne údaje o znečistení ovzdušia v reálnom čase v podobe tzv. Plume indexu. V rámci Slovenska je však monitorované iba hlavné mesto Bratislava. Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) ako organizácia poverená sledovaním kvality ovzdušia v SR zverejňuje na svojej webovej stránke (www.shmu.sk) hodinové koncentrácie vybraných znečisťujúcich látok merané na monitorovacích staniciach a zároveň každoročne zverejňuje podrobné hodnotiace správy o kvalite ovzdušia v SR (SHMÚ, 2015). Komplexne sa kvalita ovzdušia nehodnotí, s výnimkou nepravidelných správ z environmentálnej regionalizácie SR, v rámci ktorých Slovenská agentúra životného prostredia (SAŽP) uvádza syntetické mapy zaťaženia územia Slovenska základnými znečisťujúcimi látkami (dostupné za roky 2002, 2008, 2010 a 2016 v informačných brožúrach na stránke SAŽP, 2016).

Z dôvodov nedostatku informácií o komplexnom hodnotení kvality ovzdušia sme sa v rámci projektu Vedeckého parku Univerzity Komenského v Bratislave (UVP UK) a jeho aktivity 2.5 Enviro-medicína pre 21. storočie – geografický infosystém a environmentálne zdravie (<http://uvp.geonika.sk>) zamerali na výpočet priemerných ročných indexov kvality ovzdušia podľa európskej metodiky a ich sprístupnenie pre verejnosť. Predkladaný príspevok predstavuje metodiku výpočtu európskeho indexu kvality ovzdušia a taktiež rôzne metódy vystavenia obyvateľstva znečistenému ovzdušiu, ktoré aplikuje pri hodnotení kvality ovzdušia v SR v rokoch 2004 až 2012 v kontexte environmentálneho zdravia.

2 METODIKA A VSTUPNÉ ÚDAJE

2.1 Index kvality ovzdušia

Všetky metódy výpočtu indexov kvality ovzdušia sú založené na pomere medzi nameranými koncentráciami znečisťujúcich látok v ovzduší a ich limitnými koncentráciami, pričom sa berú do úvahy hodinové, denné alebo ročné priemerné koncentrácie. V rámci EÚ bol navrhnutý tzv. spoločný index kvality ovzdušia (Common Air Quality Index, CAQI), ktorý sa počíta a zverejňuje už od roku 2006 (van den Elshout et al., 2012). CAQI sa počíta na základe hodinových, denných aj ročných koncentrácií znečisťujúcich látok. Aby bol výpočet porovnateľný pre rôzne európske mestá, hodinové a denné indexy sa počítajú pre dva druhy situácií. Pozad'ový (City Background) index vyjadruje všeobecnú situáciu v danej aglomerácii, kým cestný (Roadside) index reprezentuje situáciu na cestách s vysokou intenzitou dopravy. Hodnoty indexov sa delia do 5 kategórií, pričom hraničné hodnoty zohľadňujú krátkodobé limitné hodnoty platné v európskej legislatíve.

Priemerný ročný európsky index kvality ovzdušia (Year Average Common Air Quality Index, YACAQI) sa takisto počíta na základe meraní z pozad'ových a cestných monitorovacích staníc, princíp výpočtu sa však líši od krátkodobých indexov. YACAQI predstavuje vzdialenosť od cieľovej hodnoty, ktorá je odvodená z európskych štandardov, t. j. limitných hodnôt pre dlhodobé znečistenie ovzdušia (tab. 1).

Tabuľka 1 Limitné hodnoty jednotlivých znečisťujúcich látok v ovzduší a výpočtová schéma YACAQI

Znečisťujúca látka	Limitná hodnota	Výpočet
NO ₂	ročný priemer 40 µg/m ³	ročný priemer / 40
PM ₁₀	ročný priemer 40 µg/m ³	ročný priemer / 40
PM ₁₀ denné	max. 35 dní s denným priemerom nad 50 µg/m ³	log(počet dní + 1) / log(36)
O ₃	max. 25 dní s 8-hodinovým priemerom ≥ 120 µg/m ³	počet dní / 25
PM _{2.5}	ročný priemer 20 µg/m ³	ročný priemer / 20
SO ₂	ročný priemer 20 µg/m ³	ročný priemer / 20
benzén	ročný priemer 5 µg/m ³	ročný priemer / 20

Zdroj: van den Elshout et al., 2012

Výsledný mestský pozad'ový index je aritmetickým priemerom subindexov NO₂, PM₁₀ (ročný aj denný) a O₃, kým pre dopravný index sa priemerujú subindexy NO₂ a PM₁₀ (ročný aj denný). Ostatné znečisťujúce látky sa používajú pri prezentácii YACAQI, ak sú k dispozícii vstupné údaje, čo nie je pravidlom pri všetkých mestách. Ak je hodnota YACAQI väčšia ako 1, znamená to, že jedna alebo viacero znečisťujúcich látok nespĺnilo cieľové limitné hodnoty. Ak je hodnota YACAQI menšia ako 1, v priemere boli limitné hodnoty splnené.

Zdrojom údajov pre výpočet indexov kvality ovzdušia môžu byť namerané koncentrácie znečisťujúcich látok na monitorovacích staniciach alebo koncentrácie odhadnuté pomocou atmosférických disperzných modelov. Kumulatívne indexy ako je YACAQI môžu byť citlivé na chýbajúce hodnoty spôsobené výpadkami meraní v monitorovacej sieti (de Leeuw a Mol, 2005). Ďalšou nevýhodou použitia údajov z monitorovania je priestorové obmedzenie výpočtu indexov na miesta monitorovacích staníc. Naopak údaje z monitorovania sa vyznačujú vyššou presnosťou, keďže meracie prístroje na monitorovanie emisií majú bežne toleranciu okolo 15 %, kým predpísaná tolerancia pre modelové odhady je až 30 % (SHMÚ, 2015). Pri výpočte kumulatívnych indexov kvality ovzdušia neistota odhadov ešte viac narastá.

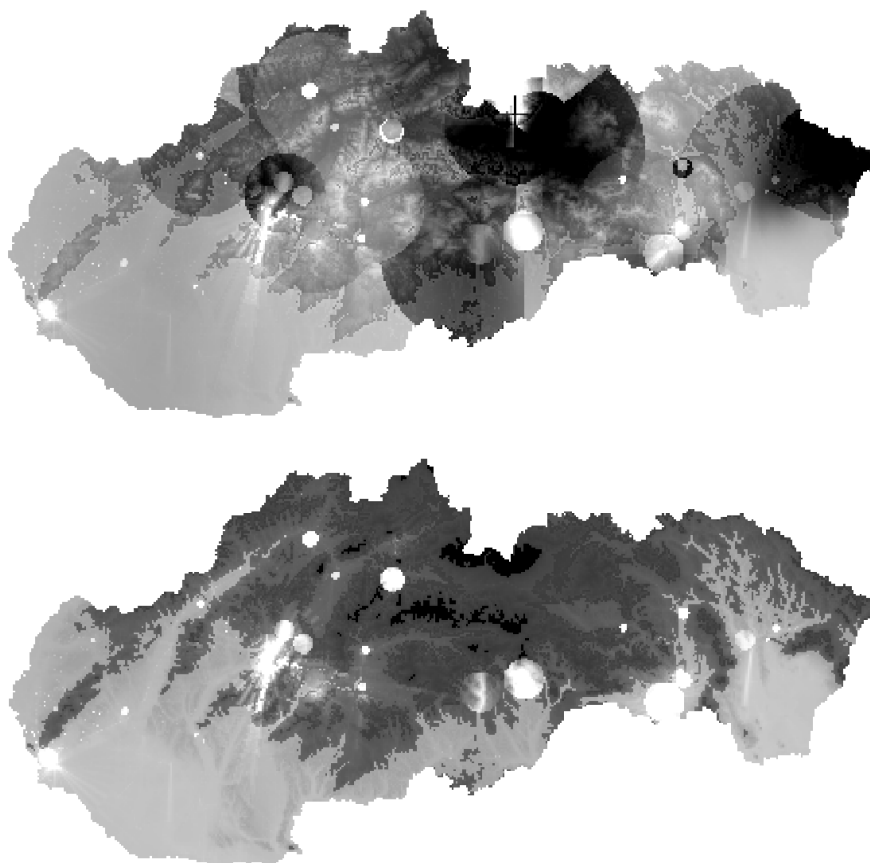
V rámci projektu UVP sme mali k dispozícii modelové údaje o priemerných ročných koncentráciách oxidu dusičitého (NO_2), oxidu siričitého (SO_2), prízemného ozónu (O_3), polietavého prachu s veľkosťou častíc do $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) a do $2,5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$), ako aj modelové údaje o počte dní s prekročenými limitnými hodnotami priemernej 24-hodinovej koncentrácie PM_{10} a o počte dní s prekročenými limitnými hodnotami priemernej 8-hodinovej koncentrácie O_3 . Údaje boli získané z SHMÚ vo forme pravidelného gridu s rozstupom 1 km za roky 2004 až 2012, ktorý je výstupom z numerických modelov CEMOD a IDW-A navrhnutých na SHMÚ.

Do výpočtu pozadového indexu YACAQI pre celé územie Slovenska by mali vstupovať priemerné ročné koncentrácie NO_2 , SO_2 , PM_{10} a počty prekročených denných limitných hodnôt PM_{10} a O_3 . Údaje o prízemnom ozóne sme sa však rozhodli z výpočtu vylúčiť z dôvodu nežiadúceho vplyvu na výsledné hodnoty indexu, ktorý sa prejavoval prudkými zmenami hodnôt v určitých vzdialenostných zónach. Tieto prudké zmeny boli vo vstupnej vrstve počtu dní s prekročenými hodnotami priemernej 8-hodinovej koncentrácie O_3 a rovnako aj vo výslednej vrstve indexu kvality ovzdušia viditeľné v podobe rozsiahlych kruhových zón (obr. 1). Príčinou je zjednodušený princíp modelovania prízemného ozónu interpolačným modelom IDW-A. Na skutočné modelovanie ozónu existujú veľmi sofistikované a mohutné modely, ale využitie takýchto modelov pre celoplošné hodnotenie územia SR je nereálne vzhľadom na náročnosť z pohľadu ľudských zdrojov, ako aj vstupných údajov (SHMÚ, 2015).

Aj analýza relatívnej dôležitosti jednotlivých subindexov pri výpočte YACAQI ukázala, že krivka subindexu ozónu má oveľa strmší priebeh ako krivky ostatných subindexov (van den Elshout et al., 2012), čo autori štúdie vysvetľujú tým, že dni s prekročenými limitnými hodnotami predstavujú vyššie percentily distribúcie koncentrácie. To sa zhoduje aj so situáciou na Slovensku, kde sa cieľové hodnoty prekračujú na celom území (napr. v rokoch 2011 až 2013 to bolo na 9 staniciach z 15) (SHMÚ, 2015). Prízemný ozón je však považovaný za sekundárny polutant, ktorý na rozdiel od primárnych polutantov reaguje na opatrenia týkajúce sa kvality ovzdušia nepriamo, a Slovensko ani nemá lokálny potenciál ovplyvniť zvýšené hodnoty koncentrácií prízemného ozónu. Z uvedených dôvodov sme sa rozhodli vylúčiť prízemný ozón z celkového hodnotenia kvality ovzdušia.

Rastrové vrstvy YACAQI s rozlíšením 1 km boli vypočítané za roky 2004 až 2012 na základe znečisťujúcich látok NO_2 , SO_2 a PM_{10} . Následne z nich boli genero-

vané vektorové databázové štruktúry ako vstupy do Integrovannej geografickej bázy údajov environmentálneho zdravia (IGBÚ EZ), ktorá bola vytvorená v rámci projektu UVP UK. IGBÚ EZ obsahuje širokú paletu environmentálnych, ako aj zdravotných indikátorov a jej operačné možnosti sú bližšie predstavené v práci Schmidta a kol. (2015).



Obrázok 1 Raster YACAQI za rok 2012 vypočítaný so zahrnutím prízemného ozónu (hore) a bez zahrnutia prízemného ozónu (dole)

Na generovanie vektorových databázových štruktúr YACAQI bolo rozlíšenie vstupných rastrov 1 km nepostačujúce, preto bolo nutné údaje prevzorkovať na jemnejšie rozlíšenie 100 m so súčasným zachovaním extrémnych hodnôt indexu, ktoré sú dôležité z hľadiska hodnotenia environmentálneho zdravia. Na tento účel sme využili implementáciu splajnovej funkcie s tenziou v softvérovom prostredí GRASS GIS, ktorá umožňuje definovať špecifické zhľadenie v každom bode (Stanková et al., 2015b).

Mapy priemerných ročných indexov YACAQI za roky 2004 až 2012 sú dostupné aj pre verejnosť na mapovom portáli projektu UVP UK (Mapový portál projektu, 2015), ktorý disponuje nástrojmi na interaktívne dopytovanie a získavanie nových, odvodených informácií na poli environmentálneho zdravia. Funkcionalita mapového portálu je detailne popísaná v práci Benovej a Feciskanina (2014).

2.2 Vystavenie obyvateľstva znečistenému ovzdušiu

Z hľadiska environmentálneho zdravia je dôležité určenie tzv. vystavenia obyvateľstva znečisteniu. Na odhad vystavenia sa používa viacero metód, od jednoduchších až po zložitejšie. Najjednoduchšou metódou je zisťovanie prítomnosti ohrozujúceho znečistenia v určitej priestorovej, obvyčajne administratívnej jednotke (tzv. unit-hazard coincidence). Pri tomto prístupe má veľký vplyv výber priestorovej jednotky, pretože výsledky sa menia s mierkou. Podľa štúdií boli údaje zoskupené na vyšších úrovniach (hrubšie priestorové rozlíšenie), ako napr. okresy, menej spoľahlivé ako údaje zoskupené do menších jednotiek (jemnejšie priestorové rozlíšenie), ako napr. základné sídelné jednotky (Chakraborty a Maantay, 2011). Jednou z ďalších nevýhod tejto metódy je, že neberie do úvahy lokalizáciu znečistenia v rámci priestorovej jednotky.

Lepšiu priestorovú reprezentáciu poskytujú metódy založené na vzdialenosti, ktoré berú do úvahy vzdialenosť od potenciálne nebezpečných zdrojov znečistenia, najčastejšie formou vzdialenostných zón. Ich nevýhodou je fixná vzdialenosť, ktorá nemusí byť vhodná pre všetky zdroje znečistenia a často sa určuje náhodne.

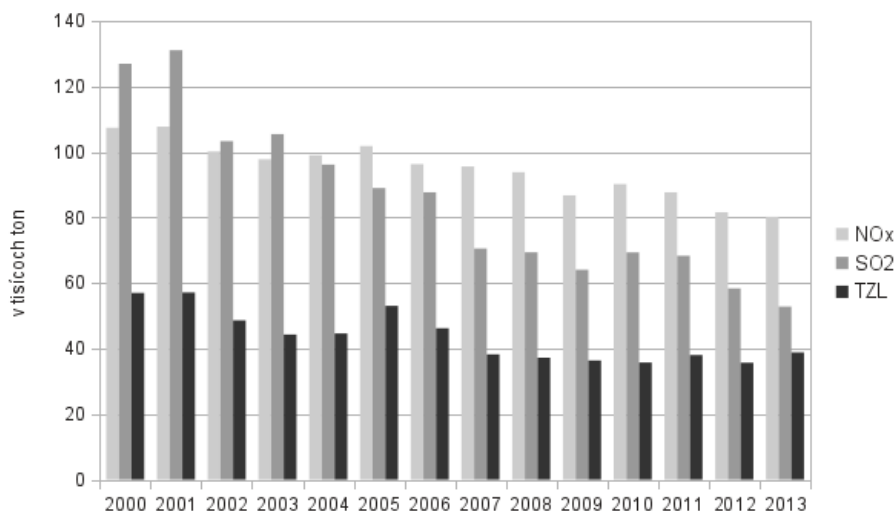
Zložitejšou a presnejšou metódou na určovanie vystavenia je použitie atmosférických disperzných modelov, na základe ktorých je možné presne určiť oblasť znečistenia. K takýmto modelom patria napríklad aj modely CEMOD a IDW-A prevádzkované na SHMÚ. Syntézou údajov z disperzných modelov vo forme indexu kvality ovzdušia môžeme získať hranice oblastí so všeobecne zhoršenou kvalitou ovzdušia. Na odhad populácie vystavenej znečisteniu sa najčastejšie používa metóda areálovej interpolácie, pričom sa určí podiel rozlohy časti administratívnej jednotky prekrývajúcej sa so zónou znečistenia z celkovej rozlohy. Tento podiel sa následne aplikuje na populáciu danej jednotky, čím dostávame odhad počtu obyvateľov ohrozených znečisteným ovzduším. Uvedený prístup sa v niektorých štúdiách označuje aj ako metóda areálového rozdeľovania (areal apportionment) (Chakraborty a Maantay, 2011). Ani táto metóda však neberie do úvahy lokalizáciu obyvateľstva v rámci administratívnej jednotky, preto bola vyvinutá metóda tzv. dazymetrického mapovania v kombinácii s areálovou interpoláciou, pri ktorej sa používajú prídavné informácie o využití zeme alebo krajinej pokrývke na presnejšiu distribúciu priestorových údajov (Mennis, 2002).

Obsahové bohatstvo databázy IGBÚ EZ umožňuje aplikovať metódu areálovej interpolácie spolu s ďalšími metódami na odhad vystavenia obyvateľstva znečisteniu. Hrubý odhad vystavenia predstavujú priemerné a maximálne hodnoty indexu kvality ovzdušia za obce, ktoré boli vypočítané metódami zonálnej štatistiky za jednotlivé roky 2004 až 2012. Na presnejší odhad sme využili priestorové databázové funkcie technológie PostGIS ST_Intersection() a ST_Area(), pomocou ktorých

sme určili rozlohy rizikových zón so zhoršenou kvalitou ovzdušia v rámci jednotlivých obcí. Podobným spôsobom sme následne určili rozlohy rizikových zón, ktoré sa v jednotlivých obciach prekrývajú s areálmi súvislej a nesúvislej zástavby získanými z údajov o krajinnej pokrývke projektu CORINE Land Cover (CLC). Nakoniec sme metódou areálovej interpolácie odhadli počet obyvateľov potenciálne ohrozených znečisteným ovzduším, pričom počty obyvateľov obcí v jednotlivých rokoch boli získané z databázy DATAcube (Štatistický úrad SR, 2016). Nové odvodené údaje umožnili analyzovať vývoj kvality ovzdušia v období rokov 2004 až 2012 na území Slovenskej republiky so zameraním na obce najviac postihnuté zhoršenou kvalitou ovzdušia.

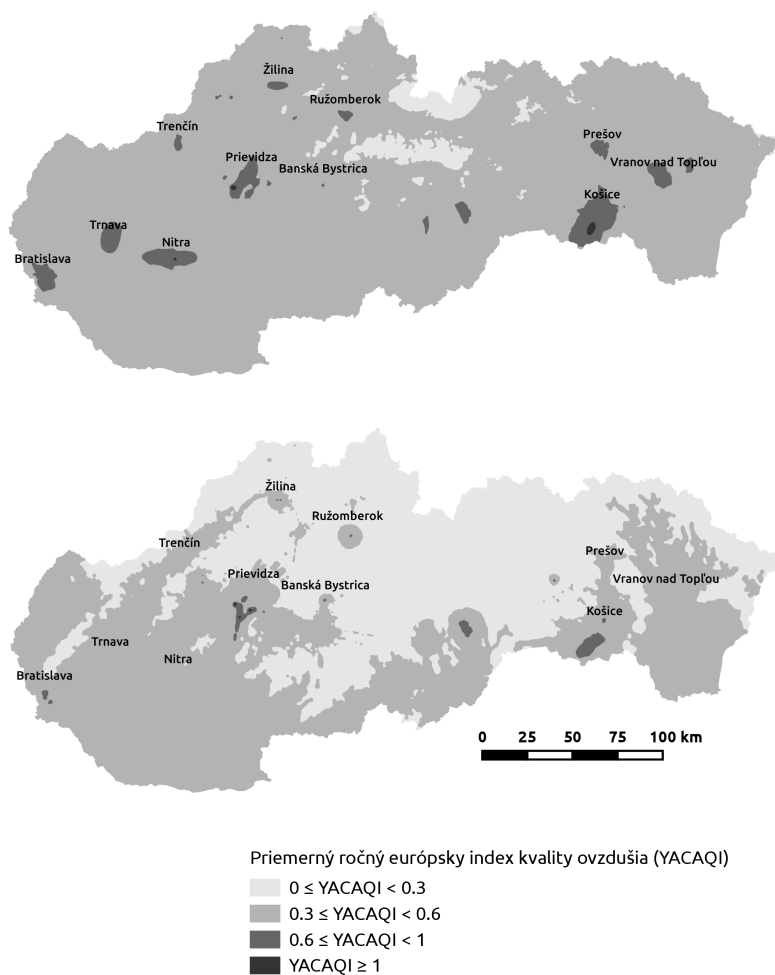
3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vývoj množstva emisií základných znečisťujúcich látok v ovzduší má v Slovenskej republike po roku 1990 klesajúci trend (SAŽP, 2015). K výraznému poklesu došlo v období rokov 1990 až 2000, následne sa rýchlosť poklesu spomalila. V rokoch 2003 až 2005 bol zaznamenaný mierny nárast emisií (predovšetkým oxidov dusíka a polietavého prachu), od roku 2005 do roku 2009 však množstvo emisií opäť klesalo. K poklesu množstva emisií v rokoch 2008 a 2009 prispela aj svetová ekonomická kríza a znižovanie výrobných kapacít niektorých priemyselných závodov. K prechodnému zvýšeniu množstva emisií oxidov dusíka a síry opäť došlo v roku 2010, emisie tuhých znečisťujúcich látok prechodne vzrástli v roku 2011 a 2013, celkovo je však množstvo emisií znečisťujúcich látok v ovzduší stabilizované, resp. klesá (obr. 2).



Obrázok 2 Vývoj množstva emisií oxidov dusíka (NO_x), oxidu siričitého (SO₂) a tuhých znečisťujúcich látok (TZL) v rokoch 2000 až 2013 v tisícoch ton na území SR (Zdroj: SHMÚ in SAŽP, 2015)

Trend postupného zlepšovania kvality ovzdušia v SR potvrdzuje aj analýza indexov kvality ovzdušia vypočítaných podľa metodiky EÚ, ktorá zároveň poskytuje aj komplexný pohľad na priestorovú distribúciu znečistenia ovzdušia. Pri porovnaní kvality ovzdušia v roku 2004 a 2012 je zjavné, že došlo k celkovému zlepšeniu kvality ovzdušia (obr. 3).



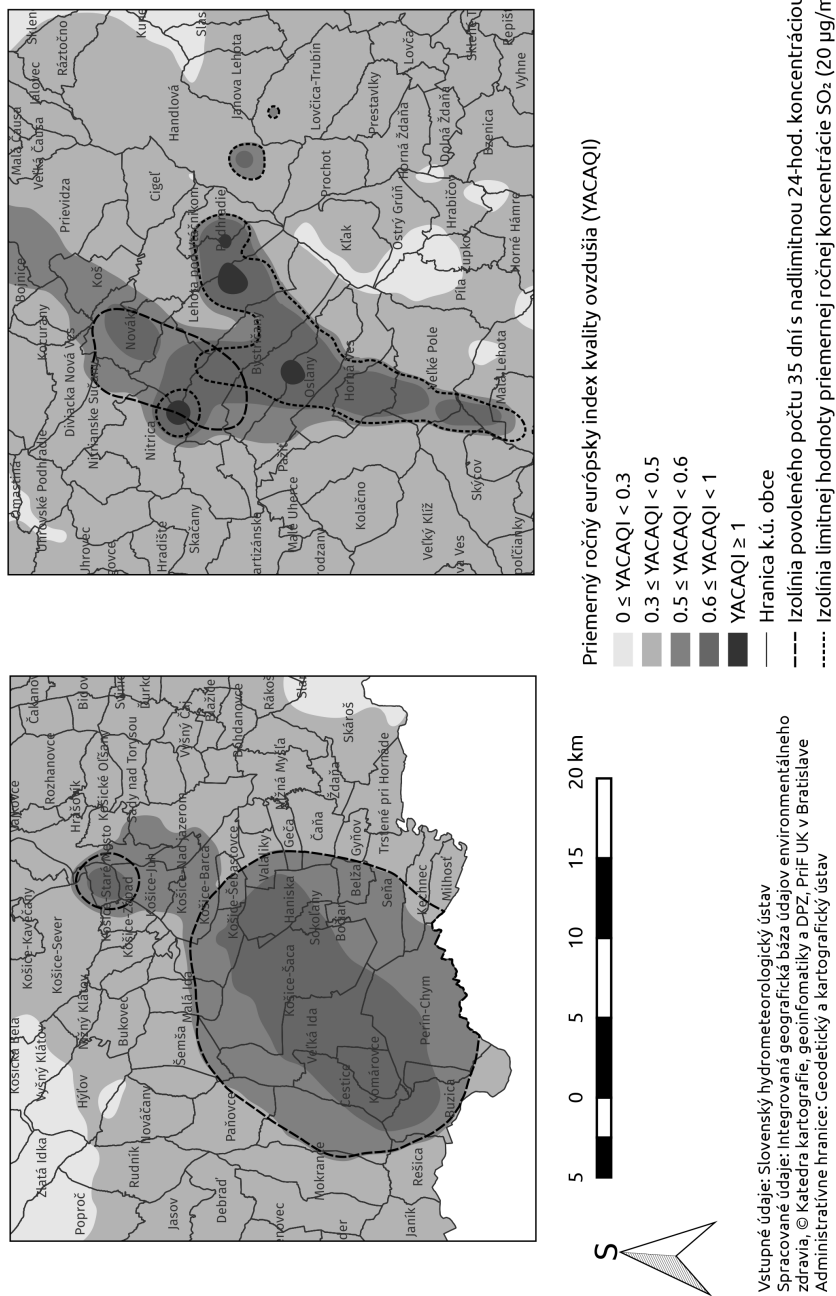
Vstupné údaje: Slovenský hydrometeorologický ústav
 Spracované údaje: Integrovaná geografická báza údajov environmentálneho zdravia
 © Katedra kartografie, geoinformatiky a DPZ, Prírodovedecká fakulta UK v Bratislave

Obrázok 3 Priemerný európsky ročný index kvality ovzdušia na území Slovenska v rokoch 2004 (hore) a 2012 (dole)

V roku 2004 zaberali oblasti s najmenej znečisteným ovzduším (YACAQI < 0,3) pohoria Nízke, Vysoké a Západné Tatry, kým v roku 2012 sa tieto oblasti rozšírili takmer na celé severné a stredné Slovensko, ako aj časť západného Slovenska (pohoria Malé Karpaty, Biele Karpaty) a časť východného Slovenska (pohoria Slanské vrchy, Vihorlat). Naopak oblasti mierne zhoršenej kvality ovzdušia (YACAQI $\geq$ 0,5) sa v roku 2004 nachádzali v širšom okolí miest Trnava, Nitra, Prievidza, Nováky a Košice, ako aj v okolí miest Bratislava, Trenčín, Žilina, Ružomberok, Revúca, Prešov a Vranov nad Topľou. Do roku 2012 sa tieto oblasti výrazne zmenšili, pričom ešte stále sa vyskytujú v mestách Bratislava, Žilina, Ružomberok a Revúca, ako aj v oblasti Hornej Nitry a južne od Košíc. Cieľová hodnota indexu 1 bola v roku 2004 prekročená na 4 miestach – v meste Bratislava (okolie závodu Slovnaft), v meste Nitra, na Hornej Nitre (pri hnedouhoľnej elektrárni v Zemianskych Kostolánoch) a južne od Košíc (okolie závodu U. S. Steel Košice). V roku 2012 bola cieľová hodnota 1 prekročená len v oblasti Hornej Nitry.

Nevýhodou výpočtu indexu kvality ovzdušia podľa európskej metodiky je priemerovanie hodnôt subindexov jednotlivých znečisťujúcich látok, takže ak na určitom mieste prekračuje limitné hodnoty iba jedna zo znečisťujúcich látok, jej vplyv na index sa zníži vďaka podlimitným koncentráciám ostatných znečisťujúcich látok. Preto nemôžeme tvrdiť, že hodnoty indexu menšie ako 1 automaticky znamenajú kvalitné ovzdušie bez prekročených limitných hodnôt. Typickým príkladom na území Slovenska je znečisťujúca látka polietavý prach PM₁₀, pri ktorej aj v súčasnosti na mnohých miestach dochádza k prekračovaniu denných limitných hodnôt viac ako povolených 35 dní v roku (v roku 2012 napríklad v mestách Žilina, Ružomberok, Revúca, na Hornej Nitre, južne od Košíc, ako aj v mestách Bratislava, Banská Bystrica, Krompachy a Prešov). V okolí závodu U. S. Steel Košice napríklad index YACAQI v roku 2012 neprekročil hodnotu 1, avšak v celej oblasti boli denné limitné hodnoty PM₁₀ prekročené viac ako 35 dní v roku (obr. 4 vľavo). V takomto prípade by bolo vhodnejšie použiť metodiku, ktorá berie za základ najvyššiu hodnotu subindexu spomedzi subindexov viacerých znečisťujúcich látok. Príkladom takejto metodiky je výpočet indexu AQI (Air Quality Index) podľa americkej agentúry EPA (U. S. EPA, 2013). Výberom jediného subindexu sa však zároveň stráca komplexná informácia o kvalite ovzdušia. Voľba optimálnej metodiky výpočtu indexu preto vždy závisí od hlavných cieľov aplikácie indexu, či už je to informovanie verejnosti o zdravotnom ohrození spôsobenom znečistením ovzdušia, komplexné hodnotenie vývoja kvality ovzdušia a pod.

Ďalšou nevýhodou použitia komplexných indexov kvality ovzdušia je strata informácie o najväčších prispievateľoch k znečisteniu ovzdušia. Preto je vhodné kombinovať údaje o indexoch s údajmi o prekročených limitných hodnotách jednotlivých znečisťujúcich látok, tak ako to umožňuje aj databáza IGBÚ EZ a mapový portál projektu UVP UK. Dlhodobu najproblematickejšou oblasťou z hľadiska kvality ovzdušia je oblasť Hornej Nitry (obr. 4 vpravo). Okrem tepelnej elektrárne v Zemianskych Kostolánoch patria k zdrojom znečistenia v tejto oblasti aj hnedouhoľné bane a FORTISCHEM, a.s. (bývalé Novácke chemické závody). Vysoké hodnoty YACAQI sú výsledkom kombinácie prekročených limitných hodnôt povoleného



počtu dní s nadlimitnou 24-hodinovou koncentráciou PM_{10} a nadlimitných hodnôt priemernej ročnej koncentrácie SO_2 , ktoré v tejto oblasti pravidelne zaznamenávame. Počas rokov 2004 až 2006 bola dokonca limitná hodnota pre SO_2 prekračovaná podľa modelu CEMOD 4 až 6-násobne. Je však potrebné brať do úvahy, že limitná hodnota priemernej ročnej koncentrácie SO_2 na úrovni $20 \mu g/m^3$ je stanovená na ochranu vegetácie. Pri výpočte YACAQI aj iných indexov sa táto limitná hodnota používa predovšetkým z dôvodu neexistencie priemernej ročnej limitnej hodnoty SO_2 pre ľudské zdravie. Súčasné použitie limitov na ochranu zdravia ľudí pri NO_2 a PM_{10} a limitu na ochranu vegetácie pri SO_2 však dáva pri výpočte väčšiu váhu SO_2 , pretože limit na ochranu vegetácie je prísnejší (Stanková et al., 2015a).

V kontexte environmentálneho zdravia obyvateľstva sme sa zamerali na hodnotenie kvality ovzdušia v jednotlivých obciach ako základných administratívnych jednotkách SR. Analýza priemernej kvality ovzdušia v obciach ukazuje, že najhoršia priemerná kvalita ovzdušia (0,95) bola v obci Sokolany v roku 2006 (tab. 2). K ďalším obciam, ktoré sa počas rokov 2004 až 2012 umiestňovali v rebríčku obcí s najhoršou priemernou kvalitou ovzdušia, patria aj obce Košice-Šaca, Komárovce a Veľká Ida. Všetky štyri obce sa nachádzajú v oblasti južne od Košíc v dosahu emisií zo závodu U. S. Steel. Rok 2006 bol najhorším rokom aj z pohľadu maximálnych hodnôt indexu YACAQI. Maximálna hodnota 2,17 bola dosiahnutá v obci Nitrica a je výsledkom mnohonásobne prekročenej limitnej hodnoty SO_2 v blízkosti hneдохolnej elektrárne v Zemianskych Kostolnoch. Obec Zemianske Kostolany mala v roku 2006 druhú najhoršiu priemernú kvalitu ovzdušia (0,93). Obec Nitrica dosahovala najvyššie maximálne hodnoty YACAQI aj v ďalších hodnotených rokoch (okrem rokov 2007 a 2010).

Z pohľadu rozlohy oblastí s prekročenou limitnou hodnotou indexu (YACAQI ≥ 1) bola na tom najhoršie obec Košice-Šaca, v ktorej zaberala oblasť zhoršenej kvality ovzdušia v roku 2004 až $16,5 \text{ km}^2$, čo predstavuje 34,5 % z celkovej rozlohy obce (tab. 3). K ďalším problematickým obciam patrili obce Veľká Ida, Nitrica a Kamenec pod Vtáčnikom. Najlepšiu kvalitu ovzdušia sme zaznamenali v rokoch 2009 a 2010, kedy nebola nikde na Slovensku prekročená limitná hodnota indexu. Uvedený trend potvrdzuje aj graf vývoja kvality ovzdušia v obciach Košice-Šaca a Nitrica (obr. 5).

Z hľadiska vplyvu znečistenia ovzdušia na obyvateľstvo nás zaujímalo, v ktorých obciach zasahovali oblasti so zhoršenou kvalitou ovzdušia do intravilánu obcí, kde sa zdržuje najviac obyvateľstva. V obciach Košice-Šaca a Nitrica, ktoré mali z pohľadu celého katastrálneho územia najhoršie ukazovatele kvality ovzdušia, oblasti znečisteného ovzdušia vôbec nezasahovali do intravilánu. Najväčšia rozloha intravilánu zasiahnutého znečisteným ovzduším bola v roku 2004 v meste Nitra (tab. 4). Rozloha tejto oblasti ($2,34 \text{ km}^2$) predstavuje 10,7 % z celkovej rozlohy zastavanej plochy v katastrálnom území mesta. Metódou areálovej interpolácie je možné určiť, že potenciálne mohlo byť ohrozených znečisteným ovzduším až 9194 obyvateľov mesta Nitra. Ohrozenie pokračovalo aj v roku 2005, kedy bolo potenciálne ohrozených 4414 obyvateľov. Takisto obec Veľká Ida v blízkosti závodu U. S. Steel Košice patrí medzi obce s obyvateľstvom potenciálne ohrozeným znečisteným

Tabuľka 2 Obce s najvyššími priemernými a maximálnymi hodnotami indexu YACAQI v rokoch 2006, 2009 a 2012 (index bol vypočítaný na základe znečisťujúcich látok NO₂, SO₂ a PM₁₀)

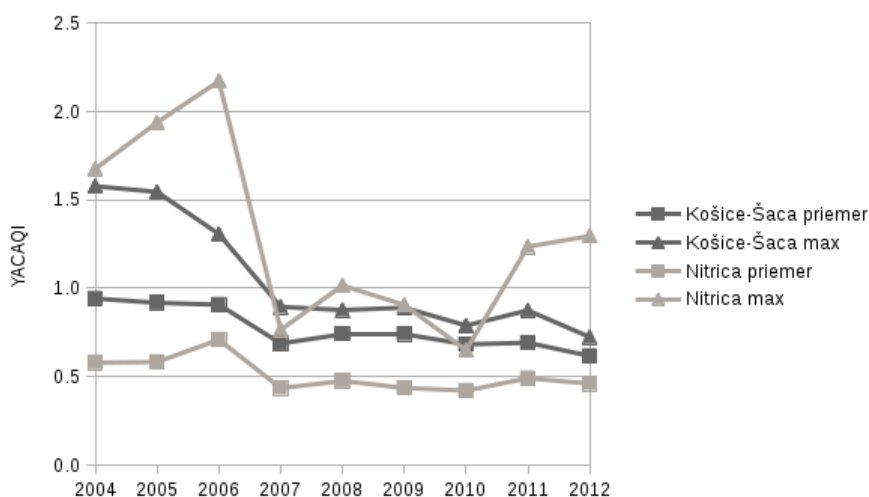
Por. č.	2006				2009				2012			
	YACAQI priemer		YACAQI max		YACAQI priemer		YACAQI max		YACAQI priemer		YACAQI max	
	obec	hodnota	obec	hodnota	obec	hodnota	obec	hodnota	obec	hodnota	obec	hodnota
1	Sokoľany	0.948	Nitrica	2.172	Komárovce	0.748	Nitrica	0.906	Komárovce	0.686	Nitrica	1.296
2	Zem. Kostofany	0.928	Košice-Šaca	1.307	Košice-Šaca	0.741	Košice-Šaca	0.890	Veľká Ida	0.648	Kamenec pod Vt.	1.153
3	Košice-Šaca	0.907	Zem. Kostofany	1.283	Veľká Ida	0.734	Veľká Ida	0.831	Čereňany	0.640	Lehota pod Vt.	1.081
4	Veľká Ida	0.849	Kamenec pod Vt.	1.183	Sokoľany	0.712	Perín-Chym	0.831	Košice-St. Mesto	0.636	Čereňany	1.072
5	Komárovce	0.841	Veľká Ida	1.134	Nižný Lánec	0.707	Kamenec pod Vt.	0.790	Cestice	0.624	Podhradie	1.057
6	Bočiar	0.825	Prievidza	1.114	Perín-Chym	0.707	Komárovce	0.768	Sokoľany	0.623	Oslany	1.043
7	Haniska	0.824	Perín-Chym	1.036	Cestice	0.701	Sokoľany	0.754	Nižný Lánec	0.623	Bystričany	0.899
8	Perín-Chym	0.821	Horné Vestenice	1.032	Bočiar	0.682	Banská Bystrica	0.748	Radobica	0.619	Radobica	0.863
9	Nižný Lánec	0.795	Bystričany	1.026	Košice-Poľov	0.664	Haniska	0.733	Košice-Šaca	0.617	Zem. Kostofany	0.818
10	Nováky	0.791	Nitrianske Sučany	1.015	Haniska	0.658	Bratislava-Ružinov	0.732	Zem. Kostofany	0.610	Veľká Ida	0.793

Tabuľka 3 Rozloha oblastí s nadlimitnou hodnotou indexu YACAQI (YACAQI ≥ 1) v obciach v rokoch 2004, 2006 a 2012

Por. č.	2004				2006				2012			
	rozloha abs. [km ²]		rozloha rel. [%]		rozloha abs. [km ²]		rozloha rel. [%]		rozloha abs. [km ²]		rozloha rel. [%]	
	obec	hodnota	obec	hodnota	obec	hodnota	obec	hodnota	obec	hodnota	obec	hodnota
1	Košice-Šaca	16.513	Košice-Šaca	34.503	Košice-Šaca	13.431	Košice-Šaca	28.063	Kamenec pod Vt.	2.497	Kamenec pod Vt.	9.870
2	Veľká Ida	4.309	Veľká Ida	13.969	Nitrica	4.546	Zem. Kostofany	26.054	Oslany	1.246	Oslany	4.955
3	Nitra	2.880	Zem. Kostofany	10.542	Bystričany	4.395	Nitrica	18.925	Nitrica	0.935	Nitrica	3.893
4	Nitrica	2.375	Nitrica	9.886	Zem. Kostofany	3.325	Sokoľany	16.431	Čereňany	0.641	Čereňany	3.374
5	Perín-Chym	2.094	Perín-Chym	5.047	Veľká Ida	2.596	Bystričany	11.689	Lehota pod Vt.	0.608	Podhradie	2.638
6	Bystričany	1.897	Bystričany	5.046	Kamenec pod Vt.	2.272	Kamenec pod Vt.	8.979	Bystričany	0.539	Lehota pod Vt.	2.164
7	Zem. Kostofany	1.345	Nitra	2.867	Prievidza	1.243	Veľká Ida	8.415	Podhradie	0.336	Zem. Kostofany	2.132
8	BA-Ružinov	0.462	Bratislava-Ružinov	1.164	Perín-Chym	1.117	Horné Vestenice	4.393	Zem. Kostofany	0.272	Bystričany	1.434
9	Seňa	0.127	Seňa	0.556	Nitr. Sučany	0.788	Nitrianske Sučany	4.367				
10	BA-Pod. Biskupice	0.000	BA-Pod. Biskupice	0.001	Sokoľany	0.621	Prievidza	2.888				

Poznámka: Sivou farbou sú znázornené najvyššie dosiahnuté hodnoty v období rokov 2004 až 2012

ovzduším. V roku 2004 zaberala oblasť s nadlimitnou hodnotou YACAQI vyše 85 % územia obce, v roku 2005 to bolo až 100 % a v roku 2006 už len 33 %. Najviac ohrozené bolo teda obyvateľstvo obce v roku 2005, kedy bolo potenciálne ohrozených 2968 obyvateľov. V roku 2007 oblasť zhoršenej kvality ovzdušia zasiahla intravilán len v meste Trenčín, čo bolo spôsobené vysokými priemernými ročnými koncentraciami NO₂. Správnosť modelového odhadu pri tomto krátkodobom zvýšení však nebolo možné posúdiť, keďže monitorovacia stanica v Trenčíne sa nachádza mimo oblasti vysokých koncentrácií NO₂ určených modelom a limitná hodnota pre NO₂ na nej nebola prekročená. V rokoch 2009 a 2010 index YACAQI neprekročil na území Slovenska limitnú hodnotu 1 a v rokoch 2008, 2011 a 2012 sa oblasti s prekročenou limitnou hodnotou vyskytli mimo intravilánu obcí.



Obrázok 5 Vývoj priemerných a maximálnych hodnôt indexu YACAQI na území obcí Košice-Šaca a Nitra v rokoch 2004 až 2012

Mapový portál projektu UVP UK poskytuje funkcionality, ktorá umožňuje vizualizovať oblasti so znečisteným ovzduším priamo nad podkladovou vrstvou Základnej bázy GIS (ZB GIS) alebo nad digitálnou ortofotomapou, takže môžeme identifikovať potenciálne ohrozené časti miest a obcí. V prípade mesta Nitra je najviac postihnutá oblasť východne až juhovýchodne od centra mesta, kde sa nenachádza žiaden väčší zdroj znečistenia (obr. 6). Príčinou znečistenia sú pravdepodobne emisie pochádzajúce z dopravy v centre mesta v kombinácii s prevládajúcim severozápadným prúdením vetra (MŽP SR et al., 2009). V uvedenej oblasti sa nachádzajú napríklad budovy Univerzity Konštantína Filozofa v Nitre a Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre, ako aj budovy výstaviska Agrocomplex Nitra či dokonca Fakultná nemocnica, Kardiocentrum a Kardiologická klinika. Potenciálne sa tu

zdržiava veľké množstvo obyvateľstva vrátane citlivých skupín, akými sú starí ľudia a ľudia s chorobami srdcovo-cievnej sústavy, pre ktorých je vystavenie znečistenému ovzdušiu najnebezpečnejšie (Brook, 2008).

Tabuľka 4 Rozloha oblastí s nadlimitnou hodnotou indexu (YACAQI $\geq$ 1) v intraviláne obcí a potenciálny počet obyvateľov vystavených znečistenému ovzdušiu v rokoch 2004 až 2007

2004				
Por. č.	rozloha intravilán			vystavenie
	obec	abs. [km ²]	rel. [%]	obyv.
1	Nitra	2.34	10.70	9194
2	Veľká Ida	1.48	85.15	2531
2005				
Por. č.	rozloha intravilán			vystavenie
	obec	abs. [km ²]	rel. [%]	obyv.
1	Veľká Ida	1.74	100	2968
2	Nitra	1.13	5.17	4414
3	BA-Ružinov	0.33	3.55	2471
4	Podhradie	0.05	18.76	62
2006				
Por. č.	rozloha intravilán			vystavenie
	obec	abs. [km ²]	rel. [%]	obyv.
1	Veľká Ida	0.57	33.06	998
2	Sokolany	0.44	65.55	753
2007				
Por. č.	rozloha intravilán			vystavenie
	obec	abs. [km ²]	rel. [%]	obyv.
1	Trenčín	0.46	3.74	2128

Poznámka: Sivou farbou sú znázornené najvyššie dosiahnuté hodnoty v období rokov 2004 až 2012

4 ZÁVER

Príspevok prezentuje priemerný ročný európsky index kvality ovzdušia YACA-QI ako nástroj na komplexné hodnotenie znečistenia ovzdušia viacerými znečisťujúcimi látkami a zároveň nástroj komunikácie informácií o kvalite ovzdušia pre verejnosť. Index YACAQI sme vypočítali pre celé územie Slovenska v období rokov 2004 až 2012 na základe priemerných ročných koncentrácií znečisťujúcich látok NO₂, SO₂ a PM₁₀ a počtov prekročení denných limitných hodnôt PM₁₀, ktoré boli poskytnuté SHMÚ. Z výpočtu bola vylúčená znečisťujúca látka prízemný ozón z dôvodu nepresnosti vstupných údajov a menšej relatívnej dôležitosti. Pri výpočte indexu YACAQI sa jednotlivé znečisťujúce látky porovnávajú so stanovenými limitnými hodnotami a vypočítané subindexy sa následne priemerujú. Vysoké hodnoty jedného subindexu preto môžu byť vyvážené nízkymi hodnotami iných subindexov, čím dochádza k strate informácie. Hoci podľa metodiky EÚ sa za kritické považujú hodnoty indexu väčšie alebo rovné ako cieľová hodnota 1, v skutočnosti aj hodnoty



Obrázok 6 Areál s nadlimitnou hodnotou indexu (YACAQI ≥ 1) na území mesta Nitra v roku 2004 znázornený na podklade údajov ZB GIS v mapovom portáli projektu UVP UK

menšie ako 1 môžu predstavovať oblasti s prekročenou limitnou hodnotou niektorej zo znečisťujúcich látok. Na území SR sa to týka predovšetkým znečisťujúcej látky polietavý prach PM_{10} , pri ktorej aj v súčasnosti na mnohých miestach dochádza k prekračovaniu denných limitných hodnôt $50 \mu g/m^3$ viac ako povolených 35 dní v roku.

Celkovo sa kvalita ovzdušia na Slovensku od roku 2004 zlepšila. Najhoršia kvalita ovzdušia podľa indexu YACAQI bola v rokoch 2004 až 2006, pričom k najproblematickejším oblastiam dlhodobo patrí oblasť Hornej Nitry a oblasť južne od Košíc v blízkosti závodu U. S. Steel Košice. Tu sa nachádzala aj obec s najvyššou priemernou hodnotou indexu YACAQI (Sokolany v roku 2006). Na Hornej Nitre zase nájdeme obec s najvyššou maximálnou hodnotou indexu YACAQI (Nitrica v roku 2006). Oblasť s nadlimitnou hodnotou indexu YACAQI zaberala najväčšiu

rozlohu v obci Košice-Šaca (16,5 km² v roku 2004), opäť v blízkosti závodu U. S. Steel Košice. Táto oblasť však nezasahovala do intravilánu obce, na rozdiel od susednej obce Veľká Ida, kde sa v roku 2005 celý intravilán obce s 2968 obyvateľmi nachádzal v oblasti so zhoršenou kvalitou ovzdušia. Najviac ohrozené bolo z tohto hľadiska mesto Nitra v roku 2004, kde síce oblasť so zhoršenou kvalitou ovzdušia zaberala len okolo 11 %, ale pri počte obyvateľov 85 902 mohlo byť potenciálne ohrozených až 9194 obyvateľov, vrátane citlivých skupín obyvateľstva.

V rokoch 2007 až 2010 sa kvalita ovzdušia zlepšila, k čomu prispela jednak aplikácia environmentálnych opatrení, ako aj svetová ekonomická kríza a s tým súvisiace zníženie výrobnnej kapacity niektorých priemyselných podnikov. V roku 2011 došlo k miernemu zhoršeniu kvality ovzdušia, čo súvisí okrem iného aj s nepriaznivými klimatickými podmienkami v zimnom období (SHMÚ, 2012). V mesiacoch ovplyvňuje kvalitu ovzdušia prítomnosť zimného posypu, ktorý je zdrojom polietavého prachu. Na vidieku zase súvisí prítomnosť polietavého prachu s vykurovaním tuhým palivom. Hlbšia analýza zdrojov jemných prachových častíc však vyžaduje použitie špeciálnych matematických modelov ako napr. modelu CALPUFF (Krajčovičová et al., 2014a, 2014b). Ďalším zdrojom detailnejších údajov o distribúcii prachových častíc môžu byť satelitné snímky (van Donkelaar et al., 2010).

Európske indexy kvality ovzdušia boli spracované v rámci projektu Univerzitného vedeckého parku Univerzity Komenského v Bratislave a sú v mapovej podobe publikované aj pre verejnosť na Mapovom portáli projektu UVP UK spolu so širokou paletou ďalších údajov týkajúcich sa environmentálneho zdravia. Hodnotenie kvality ovzdušia ukázalo, že rovnako ako komplexné hodnotenie znečistenia viacerými znečisťujúcimi látkami je dôležité aj hodnotenie znečistenia jednotlivými znečisťujúcimi látkami, predovšetkým prachovými časticami. Nevýhodou komplexného hodnotenia kvality ovzdušia pomocou indexov je okrem priemerovania hodnôt aj neistota výsledkov disperzných modelov, ktoré vstupujú do výpočtu indexov, pričom sa neistota kumuluje. Výsledky takéhoto hodnotenia by sme preto mali posudzovať veľmi starostlivo. V každej lokalite znečistenia by sme mali preskúmať, ktoré znečisťujúce látky prispievajú k vysokej hodnote indexu. Pri krátkodobom zvýšení, resp. znížení hodnôt indexu by sa mala overiť kvalita vstupných údajov prostredníctvom správ z hodnotenia kvality ovzdušia každoročne vydávaných SHMÚ, v ktorých sa uvádza neistota modelových odhadov pre niektoré znečisťujúce látky na príslušných monitorovacích staniciach. Ak je v danej lokalite neistota modelového odhadu pre jednu alebo viac znečisťujúcich látok väčšia ako predpísaná maximálna úroveň 30 %, výsledky výpočtu by nemali vstupovať do ďalšieho hodnotenia ani by sa nemali používať na tvorbu rozhodnutí. Informácie o úspešnosti modelových odhadov sú však obmedzené na miesta monitorovacích staníc a takisto nie sú k dispozícii za všetky roky ani za všetky znečisťujúce látky, preto takéto posúdenie môže byť problematické.

Pri odhade potenciálneho vplyvu na zdravie obyvateľstva je potrebné vziať do úvahy lokalizáciu znečistenia v rámci obce. Na základe prekrytu znečistenej oblasti s intravilánom obce môžeme metódou areálovej interpolácie odhadnúť počet obyvateľov potenciálne ohrozených znečistením ovzdušia. Presnejší odhad umožňuje na-

příklad metóda dazymetrického mapovania, ktorá spresňuje údaje o rozmiestnení obyvateľstva využitím prídavných údajov o krajinnej pokrývke alebo údajov katastra nehnuteľností. V prípade mestských regiónov by bolo možné využiť napríklad údaje z projektu Urban Atlas za roky 2006 a 2012. V roku 2011 bolo tiež uskutočnené Sčítanie obyvateľov, domov a bytov, ktoré je zdrojom údajov o počte obyvateľov s trvalým pobytom v jednotlivých základných sídelných jednotkách. Na základe spresnených údajov by bolo možné vyvinúť environmentálne zdravotné indikátory, ktoré predstavujú kvantitatívne merania environmentálnych podmienok prepojených s potenciálnymi zdravotnými následkami (Bell et al., 2011) a sú predmetom nášho ďalšieho výskumu.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná projektom: Univerzitný vedecký park Univerzity Komenského v Bratislave, ITMS 26240220086 spolufinancovaným zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja a projektom APVV-0326-11 „Hodnotenie kvality geografických informácií pre tvorbu environmentálnych rozhodnutí“.

Literatúra

- BELL, M. L., CIFUENTES, L. A., DAVIS, D. L., CUSHING, E., GUSMAN TELLES, A., GOUVEIA, N. 2011. Environmental health indicators and a case study of air pollution in Latin American cities. *Environmental Research*, 111, 57-66.
- BENOVÁ, A., FECISKANIN, R. 2014. Hodnotenie webových mapových aplikácií so zameraním na environmentálne zdravie a riziká z hľadiska ich kompozície a funkčnosti. *Acta Geographica Universitatis Comenianae*, 58, 2, 193-227.
- BLAŽEK, Z., ČERNIKOVSKÝ, L., OSTROŽLÍK, T., VOLNÝ, R., KRAJNY, E. 2010. Smogová situace v oblasti Ostravsko-Karvinska ve dnech 23. – 27. ledna 2010. *Meteorologické Zprávy*, 63, 2.
- BROOK, R. D. 2008. Cardiovascular effects of air pollution. *Clinical Science*, 115, 175-187.
- van DONKELAAR, A., MARTIN, R. V., BRAUER, M., KAHN, R., LEVY, R., VERDUZCO, C., VILLENEUVE, P. J. 2010. Global Estimates of Ambient Fine Particulate Matter Concentrations from Satellite-Based Aerosol Optical Depth: Development and Application. *Environmental Health Perspective*, 118, 847-855.
- van den ELSHOUT, S., BARTELD, H., HEICH, H., LÉGER, K., 2012. *CAQI Air Quality Index. European Union (European Regional Development Fund)*. [online] [cit. 2016-08-01]. Available at: <http://www.airqualitynow.eu/download/CITEAIR-Comparing_Urban_Air_Quality_across_Borders.pdf>
- CHAKRABORTY, J., MAANTAY, J. A. 2011. Proximity Analysis for Exposure Assessment in Environmental Health Justice Research. In: Maantay, J., McLafferty, S., eds. *Geospatial Analysis of Environmental Health*. Springer, 111-138.
- KIESEWETTER, G., BORKEN-KLEEFELD, J., SCHÖPP, W., HEYES, C., THUNIS, P., BESSAGNET, B., TERRENOIRE, E., FAGERLI, H., NYIRI, A., AMANN, M. 2015. Modelling street level PM10 concentrations across Europe: source apportionment and possible futures. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 1539-1553.
- KRAJČOVIČOVÁ, J., KREMLER, M., MATEJOVIČOVÁ, J., NEMČEK, V. 2014a. Analýza kvality ovzdušia v Košickom regióne pomocou modelu CALPUFF. In: *Zborník príspevkov z konferencie Ochrana ovzdušia 2014*, 148-151.
- KRAJČOVIČOVÁ, J., KREMLER, M., MATEJOVIČOVÁ, J. 2014b. Local PM10 source apportionment for non-attainment areas in Slovakia. *International Journal of Environment and Pollution*, 54, 2/3/4, 166-174.

- de LEEUW, F., MOL, W. 2005. *Air Quality and Air Quality Indices: a world apart?* ETC/ACC Technical Paper 2005/5.
- Mapový portál projektu Univerzitný vedecký park Univerzity Komenského v Bratislave. 2015. Enviromedicína pre 21.storočie – geografický info-systém a environmentálne zdravie. [online] [cit. 2016-08-01]. Dostupné na: <<https://uvp.geonika.sk/map/>>
- MAYER, H., HOLST, J., SCHINDLER, D., AHRENS, D. 2008. Evolution of the air pollution in SW Germany evaluated by the long-term air quality index LAQx. *Atmospheric Environment*, 42, 5071-5078.
- MENNIS, J. 2002. Using geographic information systems to create and analyze statistical surfaces of population and risk for environmental justice analysis. *Social Science Quarterly*, 83, 281-297.
- MŽP SR, KÚ ŽP v Nitre, SHMÚ. 2009. *Program zlepšenia kvality ovzdušia v oblasti riadenia kvality ovzdušia – územie mesta Nitry*. [online] [cit. 2016-08-01]. Dostupné na: <<http://www1.enviroportal.sk/pdf/dokumenty/programy/Nitra.pdf>>
- SAŽP. 2015. *Emisie znečisťujúcich látok do ovzdušia*. [online] [cit. 2016-07-25]. Dostupné na: <<http://www.enviroportal.sk/indicator/detail?id=141>>
- SAŽP. 2016. *Environmentálna regionalizácia SR*. [online] [cit. 2016-10-26]. Dostupné na: <<http://www.enviroportal.sk/informacny-system-zp/spravy-o-stave-zp/environmentalna-regionalizacia-sr>>
- SCHMIDT, T., KOŽUCH, M., BENOVA, A., CHUDÝ, R., FECISKANIN, R., HARCINÍKOVÁ, T., IRING, M., MIČIETOVÁ, E., MORAVČÍK, J., PELECH, V., STANKOVÁ, H., VALIŠ, J. 2015. Operačné možnosti integrovanej geografickej bázy údajov environmentálneho zdravia. *Acta Geographica Universitatis Comenianae*, 59, 1, 53-66.
- SHMÚ. 2012. *Hodnotenie kvality ovzdušia v Slovenskej republike 2011*. [online] [cit. 2016-08-01]. Dostupné na: <http://www.shmu.sk/File/oko/hodnotenie/2011_Hodnotenie_KO_v_SR.pdf>
- SHMÚ. 2015. *Hodnotenie kvality ovzdušia v Slovenskej republike 2013*. [online] [cit. 2016-08-01]. Dostupné na: <http://www.shmu.sk/File/oko/hodnotenie/2014_Hodnotenie_KO_v_SR.pdf>
- STANKOVÁ, H., BENOVA, A., CHUDÝ, R., HARCINÍKOVÁ, T., IRING, M., FECISKANIN, R., KOŽUCH, M., MIČIETOVÁ, E., MORAVČÍK, J., PELECH, V., SCHMIDT, T., VALIŠ, J. 2015a. Index kvality ovzdušia v Slovenskej republike ako faktor environmentálneho zdravia. *Meteorologický časopis*, 18, 2, 55-61.
- STANKOVÁ, H., BENOVA, A., CHUDÝ, R., IRING, M., FECISKANIN, R., KOŽUCH, M., MIČIETOVÁ, E., MORAVČÍK, J., PELECH, V., SCHMIDT, T., VALIŠ, J. 2015b. Faktor čistoty ovzdušia v GIS environmentálneho zdravia. In: *Zborník príspevkov z konferencie Biotické faktory a enviro-medicína pre 21. storočie*, 29. apríla 2015, Bratislava, 98-112.
- ŠSTATISTICKÝ ÚRAD SR. 2016. *Databáza DATAcube*. [online] [cit. 2016-08-01]. Dostupné na: <<http://datacube.statistics.sk/TM1WebSK/>>
- U. S. EPA. 2013. *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index*. [online] [cit. 2016-08-01]. Available at: <<https://www3.epa.gov/airnow/aqi-technical-assistance-document-dec2013.pdf>>
- ZÁVODSKÝ, D. 2010. História monitoringu a hodnotenia kvality ovzdušia na Slovensku. *Meteorologický časopis*, 13, 4, 117-125.

Air quality assessment in Slovakia in the years 2004 to 2012 based on European Union methodics

Summary

The paper presents Common Year Average Air Quality Index (YACAQI) as a tool for the complex evaluation of air pollution by different pollutants as well as a communication tool for distribution of air quality information to the public. Air quality

indexing is based on a comparison of average hourly, daily or yearly pollutants concentrations against the limit values. European air quality index is calculated for traffic and background sites. Overall city background index is the average of sub-indices for nitrogen dioxide, particulate matter PM_{10} (both year average and the number of days with daily concentration exceeding limit value) and ground level ozone. The other pollutants are used if the data are available. The computation of YACAQI in Slovak Republic was based on the concentrations of nitrogen dioxide (NO_2), sulfur dioxide (SO_2) and particulate matter (PM_{10}) provided by Slovak Hydrometeorological Institute for the years 2004-2011. Ground level ozone was excluded from computation due to the input data inaccuracy and less importance compared to other pollutants.

Averaging of sub-indices may result in information loss due to the compensation of one sub-index with high value by other sub-indices with low value. According to European Union methodics, if the YACAQI is higher than 1, for one or more pollutants the limit values are not met. Otherwise, on average the limit values are met. Actually, also areas with YACAQI lower than 1 can have limit values of one or two pollutants exceeded. In Slovakia, particulate matter PM_{10} is the case when daily limit values $50 \mu g/m^3$ are constantly exceeded in many places more than a maximum number of 35 days a year.

Generally, the air quality in Slovakia has improved since 2004. According to YACAQI, the worst air quality was recorded in the years 2004 to 2006 followed by the air quality improvement in the years 2007 to 2010 related to world economic crisis and decrease of the industrial production capacity. By contrast, adverse climatic conditions in 2011 resulted in slightly worse air quality.

The most problematic parts of Slovakia considering air pollution are located in Horná Nitra with brown coal thermal power plant Zemianske Kostol'any and south of Košice with steelworks plant U. S. Steel Košice. The cadastral territory of village Sokol'any near U. S. Steel Košice had the highest mean value of YACAQI in 2006 (0,95). In the same year, the cadastral territory of village Nitrica in Horná Nitra reached the highest maximum value of YACAQI (2,17). The largest area with YACAQI exceeding limit value 1 was located in cadastral territory of village Košice-Šaca ($16,5 \text{ km}^2$ in 2004). Nevertheless, this area didn't cover the built-up territory of village, in contrast with the neighbouring village Veľká Ida where all built-up territory was located in the area of poor air quality causing a potential hazard to 2968 inhabitants. The most serious hazard was identified in the regional capital Nitra in 2004 when area with poor air quality covered 11% of built-up territory. Using the areal apportionment method, we estimated that 9194 inhabitants could be at risk of air pollution, including the most vulnerable like those with cardiovascular disease.

By implementing the areal apportionment methods with more precise input data like European Urban Atlas for urban regions or Census 2011 data, we could get even more precise estimations of risk populations. The application of dasymetric mapping in combination with areal interpolation has been suggested as a promising approach. This technique uses ancillary information such as land use or land cover to redistribute spatial data in a more accurate and logical manner. With these methods and data, one can develop various Environmental Health Indicators (EHIs) as quantitative measures of environmental conditions linked with health outcomes to provide a common framework allowing comparison across locations or time.