

Spracovanie meraní koncentrácií znečisťujúcich látok PM_{10} a NO_2 v Nitre

Camara Assa

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15, Bratislava
assacamara96@gmail.com

Abstract

European legislation and World Health Organization have introduced limits for many pollutants, since increased levels of this pollutants are harmful for human health and for ecosystems. For this reason it is important to have Air Quality monitoring networks with a good spatial representativeness. So far focus of governments have been mostly monitoring stations but in recent years low cost sensors have become more and more affordable and accurate. Low-cost sensors have been also installed in the city of Nitra. In the first chapter was described the transmission conditions in the city of Nitra and the most important characteristics of the city from the Air quality point of view. The monitoring stations in the city were described as well as the newly installed sensors. Later National monitoring network of air quality in Slovakia was discussed in more general terms and the types of stations it consists of. Positives of low-cost sensors were described. Furthermore the negatives, like the required analytical calibration of sensors and short life span in harsh conditions were discussed. Spatial representativeness of traffic station in Nitra was depicted and several different methods used for calculating spatial representativeness of a station were mentioned.

In the second section, historical concentrations PM_{10} , PM_{25} and NO_2 , since 2009 until 2020, were analysed. Dependency of these values on temperature was demonstrated using correlation matrix and heat maps. Next concentrations of pollutants PM_{10} and NO_2 measured during first half of 2021 by monitoring station and sensors were compared using correlation analysis and boxplots. This analysis showed that the company developing the calibration algorithm may have introduced some form of bias into their final concentration values or the positions of sensors maybe incorrect. At this stage no conclusion can be made, as it is still necessary to compare measured values to modelled concentration values.

Anotácia

Analyzovali sme dlhodobé merania znečisťujúcich látok PM_{10} , PM_{25} a NO_2 na staniciach kvality ovzdušia a ich závislosť na teplote. Porovnali sme merania koncentrácií monitorovacími stanicami a nízko-nákladovými senzormi pre znečisťujúcich látok PM_{10} a NO_2 , z prvého polroka 2021. Na porovnanie sme použil korelačné matice a boxplot.

Kľúčové slová: korelačná analýza, senzory na meranie kvality ovzdušia

Anotation

Analysis of long term concentrations for pollutants PM_{10} , PM_{25} and NO_2 measured by monitoring stations and their dependency on temperature was conducted. Concentrations measured by monitoring stations and low-cost sensors during first half of year 2021 were compared using correlation analysis and boxplots, for pollutants PM_{10} and NO_2 .

Keywords: correlation analysis, air quality sensors

1 Úvod

Spolu s témou životného prostredia sa aj kvalita ovzdušia dostáva do popredia záujmu obyvateľov. Rastúca urbanizácia v minulom storočí dlhodobo viedla k zhoršovaniu kvality ovzdušia v mestách, či už kvôli rastúcej intenzite dopravy, alebo zväčšujúcemu sa podielu priemyslu. Potreba kontroly kvality ovzdušia sa objavila už koncom 20. storočia a vďaka rastúcemu záujmu občanov o negatívne dopady znečistenia na zdravie obyvateľstva sa kvalita ovzdušia stala dôležitou témou aj pre Európsku Úniu, ktorá pre mnohé znečisťujúce látky legislatívne ustanovila limitné hodnoty koncentrácií na ochranu zdravia obyvateľstva a ekosystémov¹.

Hodnoty koncentrácií sú merané primárne na monitorovacích staniciach Národnej monitorovacej siete kvality ovzdušia (NMSKO). Údaje namerané v sieti NMSKO sa vyhodnocujú vzhľadom na limitné hodnoty vyplývajúce z legislatívy². Koncentrácie nie je možné merať v každom bode, preto je v záujme ochrany ľudského zdravia a ekosystémov potrebné, aby stanice, ktoré sú na našom území, mali čo najväčšiu priestorovú reprezentatívnosť, a teda aby boli dostupné čo najpresnejšie informácie o kvalite ovzdušia na celom území. Koncentrácie, ktoré sú na monitorovacej stanici namerané, sú ovplyvnené šírením znečisťujúcich látok v atmosfére. Šírenie znečisťujúcich látok v atmosfére i od meteorologických podmienok, orografie (tvary terénu) aj priestorového aj časového rozloženia emisií. Dôležité sú aj údaje o vlastnostiach povrchu.

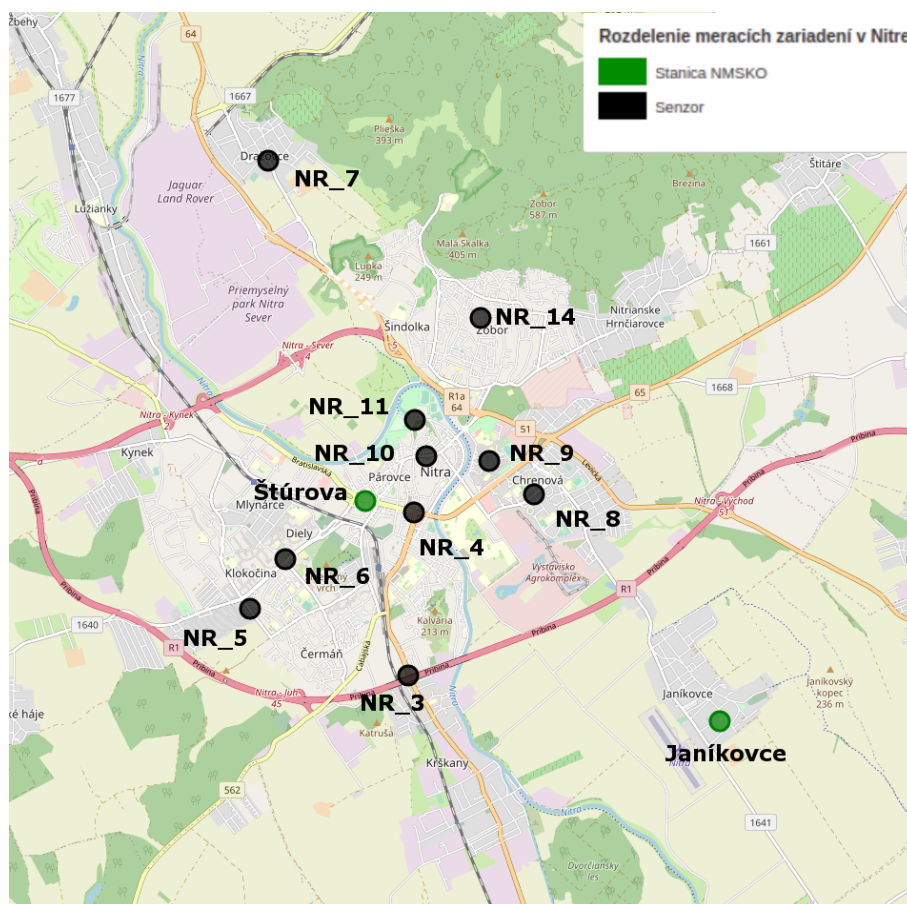
1.1 Nitra

Mesto Nitra leží na rovnomennej rieke Nitra na južnom okraji pohoria Tribeč. V tomto pohorí na severozápade mesta sa nachádza najvyšší bod mesta na vrchole Zobor. Mesto má 76 028 obyvateľov a rozlohu 100,48 km². Nitra bola oddávna dopravným uzlom, dnes sa tu tiež prejavuje vysoký podiel emisií z cestnej dopravy. Ďalším významným zdrojom znečistenia ovzdušia sú domáce kúreniská, čo sa prejavuje na zvýšených hodnotách koncentrácií PM_{10} v zime. Na území Nitry sa nenachádzajú žiadne väčšie zdroje priemyselného znečistenia.

V meste Nitra sa nachádzajú dve monitorovacie stanice NMSKO. V časti Janíkovce, v areáli základnej školy je stanica, ktorá meria mestské pozadové znečistenie a na Štúrovej ulici asi 100 m od kruhového objazdu smerom do centra je dopravná stanica. Tieto stanice sú na mape na Obr. 1 zobrazené zeleným krúžkom. V decembri 2020 zadovážila samospráva mesta Nitra 10 nízko-nákladových monitorovacích staničiek od nemenovanej slovenskej firmy, ktoré obsahujú niekoľko senzorov (merajú PM_{10} , NO_2 , CO a O_3) a okrem koncentrácií znečisťujúcich látok monitorujú aj tlak, teplotu a vlhkosť vzduchu. Tieto monitorovacie staničky budeme v ďalšej analýze nazývať senzory. Na mape sú označené čiernymi krúžkami. Tieto senzory zaznamenávajú koncentrácie každých 10 minút. Pre účely tejto štúdie sme použili priemerné hodinové dáta, aby ich bolo možné porovnať s meraniami na monitorovacích staniciach, z ktorých máme k dispozícii priemerné hodinové koncentrácie. Okrem senzora NR_9, ktorý je umiestnený na detskom dopravnom ihrisku, sú všetky senzory umiestnené v tesnej blízkosti

¹ Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2008/50/ES

² Zákon č. 137/2010 Z. z. o ovzduší



Obr. 1: Rozmiestnenie monitorovacích staníc a senzorov v Nitre.

kosti ciest, môžeme ich preto kategorizovať ako zariadenia monitorujúce vplyv cestnej dopravy. Dáta z týchto senzorov boli analyticky spracované a boli na ne aplikovaný kalibračný algoritmus, ktoré vyvinul dodávateľ.

1.2 Národná monitorovacia sieť

História meraní kvality ovzdušia na našom území sa začína už v 60-tych rokoch 20. storočia. V priebehu rokov 2015 - 2016 boli kvôli rekonštrukcii siete NMSKO na viacerých staniciach výpadky meraní, od roku 2017 je opäť dostupný kontinuálny rad meraní. V roku 2020 bola monitorovacia sieť rozšírená projektom Skvalitnenie Národnej monitorovacej siete kvality ovzdušia z pôvodných 38 na 52 monitorovacích staníc. Umiestnenie monitorovacích staníc NMSKO má za cieľ identifikovať geografické variácie a dlhodobé trendy znečistenia ovzdušia. Monitorovacie stanice sa rozdeľujú podľa typu staníc na:

- pozad'ové
- dopravné
- priemyselné

Stanice na najviac exponovaných miestach, ako sú mestské dopravné a priemyselné, majú najmenšiu priestorovú reprezentatívnosť (charakterizujú oblasti s menšou plochou), najvyššiu priestorovú reprezentatívnosť územia predstavuje regionálna pozad'ová stanica.

1.3 Nízkonákladové senzory

Monitorovacie stanice kvality ovzdušia sú nákladné na zaobstaranie a aj na prevádzku a údržbu, preto sieť monitorovacích staníc často nepokrýva územie dostatočne. V posledných rokoch sa v mnohých krajinách začali používať nízko-nákladové senzory na získavanie dát z vyšším priestorovým rozlíšením. Ich hlavnou výhodou je cena, vďaka ktorej sú dostupné nielen pre samosprávy a neziskové organizácie³ ale aj pre jednotlivcov po celom svete⁴. Ich nízke počiatočné náklady však nepokrývajú náklady na údržbu. Problémom môže však byť nízka kvalita nameraných údajov. Často sú zakúpené jednotlivcami alebo neziskovými organizáciami, ktoré nemajú zaužívané štandardné postupy pre kontrolu údajov.

Ďalšou pomerne veľkou nevýhodou sú ťažkosti spojené s priebežnou kontrolou dát. Pokiaľ senzor nie je umiestnený v blízkosti monitorovacej stanice, je veľmi náročné skontrolovať správnosť merania, keďže priestorové rozloženie koncentrácií je značne variabilné. Teoretická možnosť kontroly meraní senzorov matematickým modelovaním je prakticky ťažko realizovateľná kvôli nárokom na presnosť vstupov.

1.3.1 Kalibrácia nízko nízko-nákladových senzorov

Na kontrolu kvality meraní senzorov sa zameralo viacero pracovných skupín a vedeckých výskumných tímov. Údaje senzorov sú od výrobcu vybavené opravou dát podľa kalibračných kriviek, ktoré najčastejšie zohľadňujú meteorologické podmienky, ktoré meranie najviac ovplyvňujú, ako sú vlhkosť a teplota. Na tento sa používajú rôzne štatistické nástroje ako regresná analýza či neuronové siete [3], [4]. Je však potrebné poznamenať, že aj napriek tomu, že kalibrácia zvýši kvalitu dát zo senzorov, vyhodnotenie dlhšieho časového radu meraní siete senzorov je možné kontrolovať často až spätne, napríklad pomocou matematického modelovania.

Kalibračné krivky používajú teda senzory v reálnom čase. Pre mnohé druhy senzorov je však kalibračná krivka špecifická pre každý jeden senzor [3]. Na získanie dobrej kalibračnej krivky sú však potrebné aspoň ročné meranie, pričom sa ukáže ďalšia slabina senzorov - životnosť. Použitelnosť senzorov sa veľmi líši, niektoré vedú spoľahlivo fungovať aj sedem rokov zatiaľ čo iné aj menej než dva roky. Životnosť je veľmi lá na podmienkach, ktorým sú senzory vystavené. Naproti tomu monitorovacie stanice môžu mať životnosť aj viac než desať rokov [4].

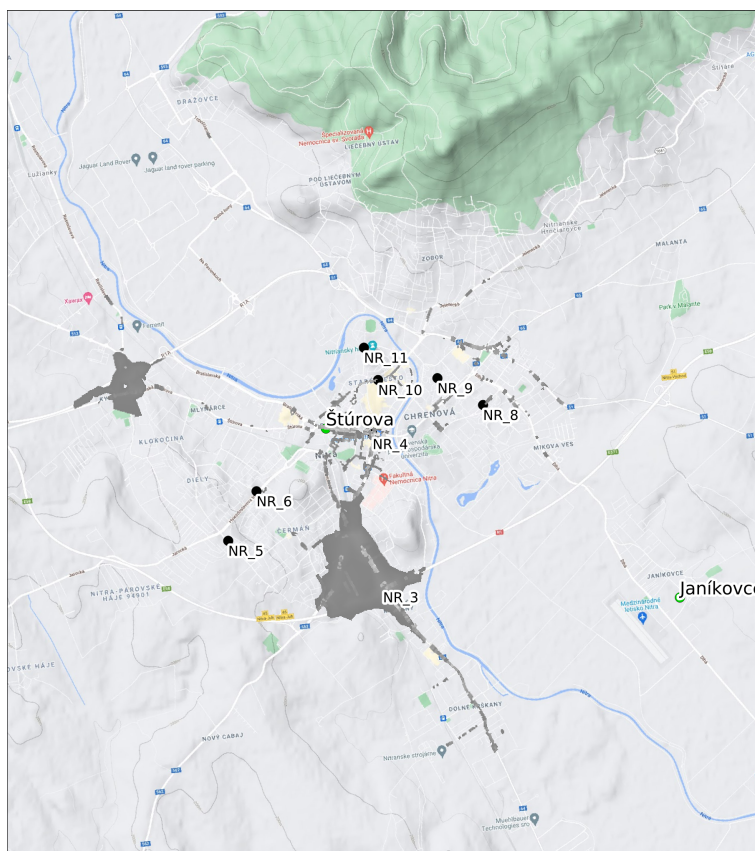
1.4 Priestorová reprezentatívnosť

Priestorová reprezentatívnosť popisuje aká veľká je plocha, ktorú charakterizuje svojím meraním stanica. Určenie plochy reprezentatívnosti staníc môže pomôcť pri výpočte expozície obyvateľstva. [5]. Zistiť túto plochu je pomerne komplikovaný problém, ktorému sa venuje množstvo článkov založených na rôznych prístupoch. Väčšinou sa na vyhodnotenie reprezentatívnosti používajú ročné priemerné hodnoty a pole koncentrácií získané z modelu pre danú oblasť. Plochou reprezentatívnosti stanice je potom oblasť, na ktorej sa hodnoty z výstupu matematického modelu líšia od koncentrácie v mieste stanice o menej než je zvolená limitná hodnota. Táto limitná hodnota sa väčšinou uvádza v percentách, hodnotí sa priemerná ročná koncentrácia výstupu modelu a je jednou z otázok, či je potrebné aby bola takto vzniknutá plocha reprezentatívnosti spojitá [7]. Týmto spôsobom sme získali aj priestorovú reprezentatívnosť pre PM_{10} Stanice na Štúrovej ulici, ktorá sa nachádza v centre Nitry, zobrazenú na Obr.2. Na mape je tmavo vyznačená oblasť, kde je rozdiel priemernej ročnej hodnoty, vypočítanej modelom AtmoStreet a koncentrácie v mieste monitorovacej stanice najviac 10%. Model AtmoStreet kombinuje požadované koncentrácie získané z interpolačného modelu (RIO, rio priestorové rozlíšenie 1 x 1 km) a gaussovského disperzného modelu, ktorým sa počítajú koncentrácie z bodových zdrojov (napr. komíny priemyselných zdrojov) a z líniových zdrojov, ktorými je reprezentovaná cestná doprava (IFDM) s príspevkom

³<https://vzduch.cyklokoalicia.sk/public/>

⁴luftdaten.info

vypočítaným modelom (OSPM) pre cestné kaňony [9]. (Na ilustráciu metódy na určenie priestorovej reprezentatívnosti sme použili výstup modelu AtmoStreet, ktorý získal SHMÚ v rámci projektu Komplexný systém modelovania kvality ovzdušia v SR).



Obr. 2: Priestorová reprezentatívnosť stanice Nitra Štúrova v roku 2019 pre PM_{10} získaná z priemernej ročnej koncentrácie z výstupu modelu AtmoStreet (limitom je rozdiel 10 % oproti koncentrácii v bode, kde sa nachádza stanica).

Medzi používané metódy patrí aj využitie pasívnych vzorkovačov. Nevýhodou tejto metódy je nižšia presnosť a skutočnosť, že poskytuje len dlhodobé koncentrácie z daného miesta (doba expozície je napríklad 14 dní), je to však lacnejšie ako meranie mobilnými stanicami [10]. Zo štatistických metód sa využívajú metódy geoštatistiky, konkrétne semivariogram [8], ktorých problémom však je že nezahŕňajú informácie o smere vetra a iných meteorologických faktoroch.

2 Analýza dát

V nasledujúcej kapitole budeme štatisticky analyzovať namerané údaje zo staníc NMSKO a senzorov. Na ohodnotenie závislosti dát z rôznych zdrojov sa používa korelačný koeficient. Najpoužívanejší **korelačný koeficient** (Pearsonov korelačný koeficient) vyjadruje lineárnu závislosť medzi dvoma skúmanými náhodnými veličinami za predpokladu, že výber pochádza z normálneho rozdelenia.

$$\rho = \frac{\sigma_{XY}}{\sqrt{\sigma_X^2 \sigma_Y^2}} \quad (1)$$

Pre tento koeficient platí $-1 \leq \rho \leq 1$. Ak je $\rho = 0$, sú náhodné veličiny lineárne nezávislé (nekorelované), keď je hodnota ρ blízko jednej z krajných hodnôt intervalu, tak sú náhodné veličiny lineárne závislé (korelované).

Korelačný koeficient spĺňa podmienky funkcie podobnosti, ktorá sa používa pri zhlukovaní. V prípade mnohých premenných sa využíva na redukciiu dát. Vysoko korelované premenné vytvoria jeden zhluk, ktorý bude naďalej reprezentovaný len jedným reprezentantom z tohto zhluku. Na tento účel môže byť tento prístup využitý aj pri návrhu a optimálnej monitorovacej siete kvality ovzdušia [11], kde sa spolu s euklidovskou vzdialenosťou používa na odstránenie staníc, ktoré poskytujú len malú informáciu (ak sú namerané hodnoty veľmi podobné hodnotám, ktoré sú namerané aj na iných staniciach). Korelácia v kombinácii s predpokladaným počtom prekročení (na pomerne malom území) bola použitá na vyhodnotenie priestorovej reprezentácie a následne na nájdenie optimálnej siete. [1].

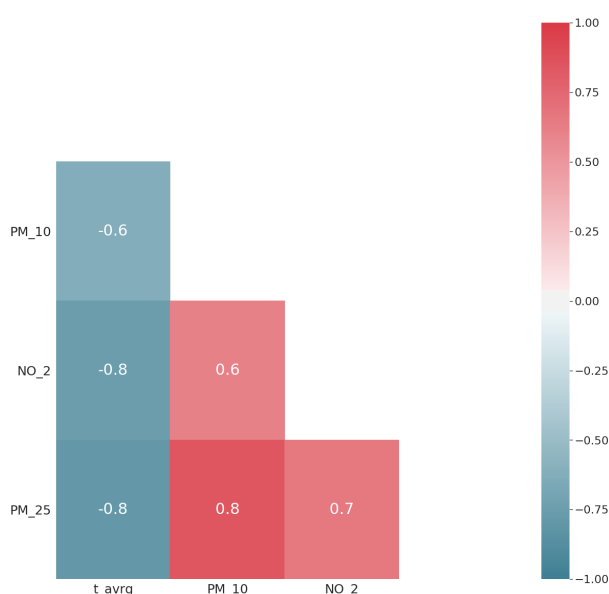
2.1 Analýza historických dát

Historické merania zo staníc v Nitre sú dostupné od roku 1990, ale konzistentné dáta z kontinuálnych meraní sú dostupné až po roku 2009. V tejto analýze sa budeme venovať len tým znečisťujúcim látkam, ktoré sú merané aj nízkonákladovými senzormi (PM_{10} a NO_2) a v neskoršej analýze ich bude možné porovnať s výsledkami z modelu s vysokým rozlíšením CALPUFF. Priemer, štandardnú odchýlku, minimum a maximum nameraných hodnôt na stanici Nitra, Janíkovce, od začiatku roku 2009 po koniec roku 2020 môžeme vidieť v Tabuľke 1

Tabuľka 1: Základné štatistické údaje nameraných hodnôt na stanici Nitra, Janíkovce

	priemerná mesačná teplota	PM_{10}	NO_2	PM_{25}
Priemer	11,26	26,55	12,15	18,04
štandardná odchýlka	8,04	10,57	6,31	10,44
minimum.	-6.8	10,37	2,92	1,42
maximum	23.9	67,05	40,12	66,69

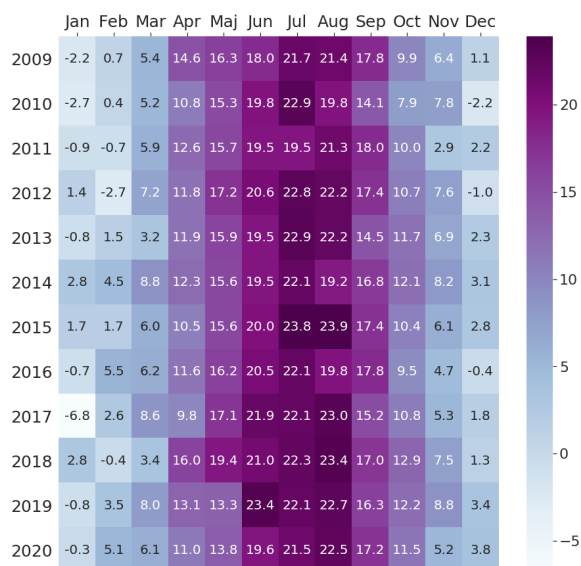
Na Obr. 3 je korelačná matica priemerných mesačných hodnôt za rovnaké obdobie. Môžeme vidieť, že medzi mesačnými priemernými hodnotami PM_{10} a PM_{25} je vysoká lineárna závislosť. Hodnoty koncentrácií všetkých hodnotených znečisťujúcich látok majú negatívnu koreláciu s priemernou mesačnou teplotou, čo nie je v prípade PM_{10} a PM_{25} prekvapivé, keďže jedným z hlavných zdrojov týchto znečisťujúcich látok je kúrenie tuhým palivom.



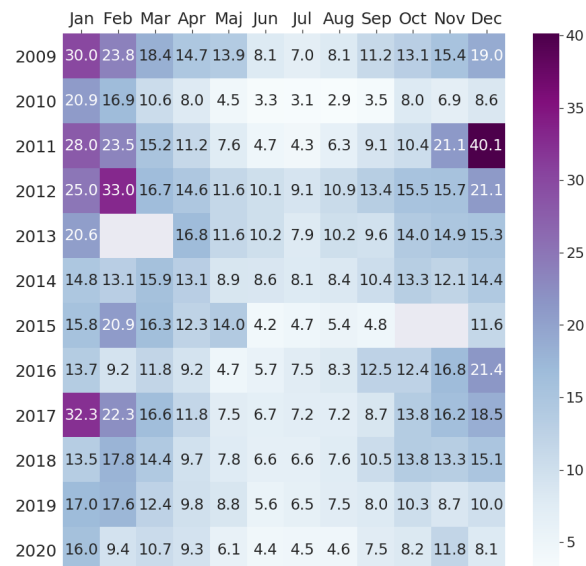
Obr. 3: Korelácia nameraných hodnôt zo stanice Nitra, Janíkovce, od roku 2009 do roku 2020

Výrazné zvýšenie hodnôt priemerných mesačných koncentrácií PM_{10} a PM_{25} z nižšími teplotami je vidi-

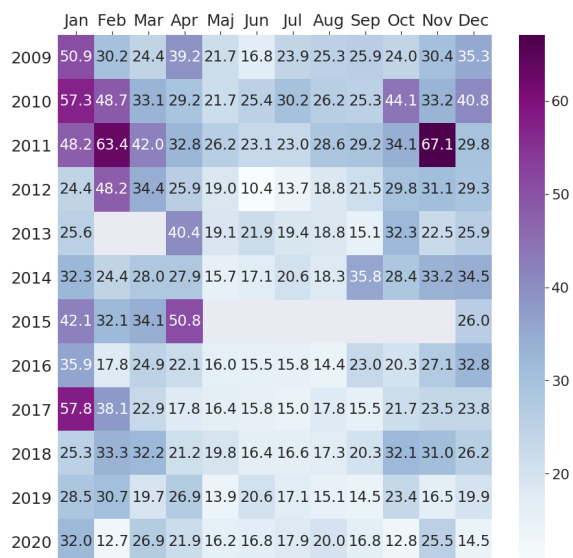
teľnejšie z Obr.4, Obr.6 a Obr.7. Tiež je z týchto obrázkov možné pozorovať, že priemerné hodnoty v Nitre dlhodobo klesajú. Z Obr.5, môžeme vidieť, že rozdiely medzi letom a zimou sú na tejto stanici pre NO_2 tiež pomerne veľké. Dôvodom pravdepodobne bude to, že NO_2 vzniká aj pri vykurovaní domácností, a keďže v Janíkovciach je pozad'ová stanica, na priemerné hodnoty, ktoré sú na nej namerané má doprava menší vplyv a prejavujú sa viac zvýšené hodnoty spôsobené vykurovaním.



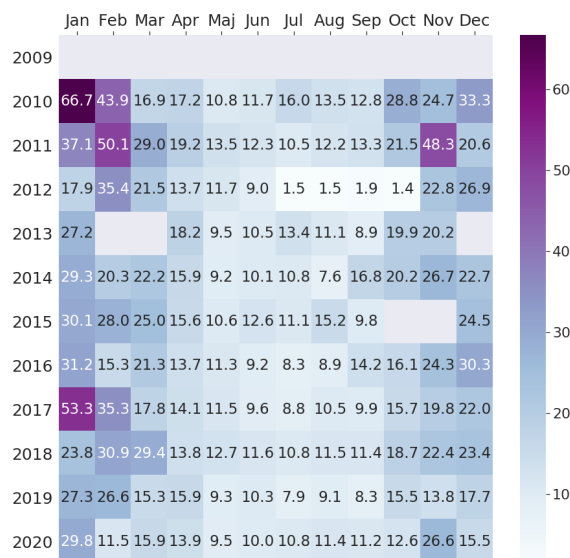
Obr. 4: Priemerné mesačné teploty zaznamenané na stanici Nitra Janíkovce od roku 2009 do roku 2020



Obr. 5: Priemerné mesačné hodnoty NO_2 zaznamenané na stanici Nitra Janíkovce od roku 2009 do roku 2020



Obr. 6: Priemerné mesačné hodnoty PM_{10} zaznamenané na stanici Nitra Janíkovce od roku 2009 do roku 2020

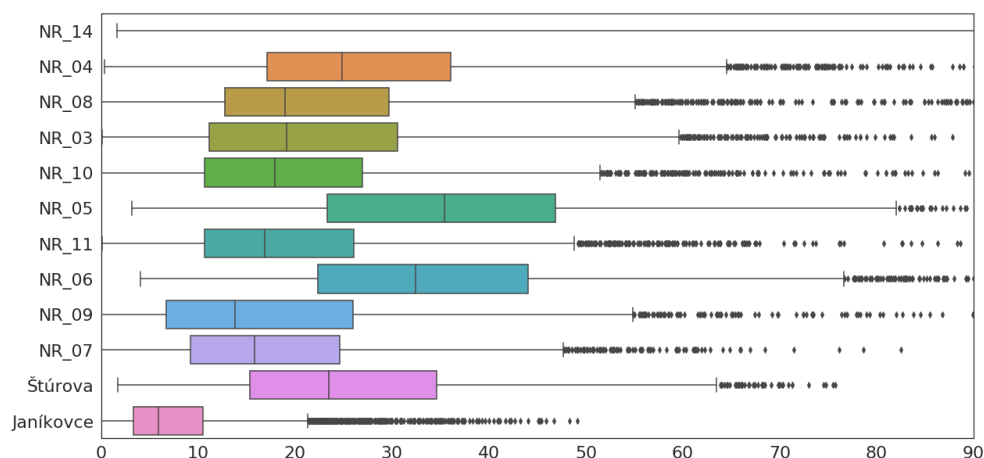


Obr. 7: Priemerné mesačné hodnoty PM_{25} zaznamenané na stanici Nitra Janíkovce od roku 2009 do roku 2020

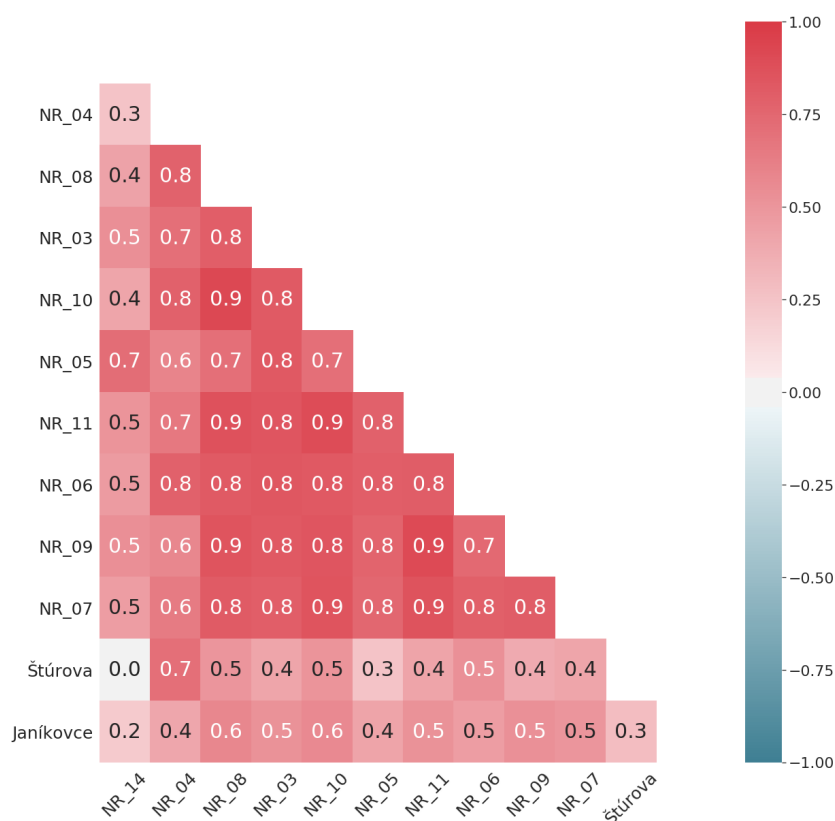
2.2 Analýza dát prvého polroku 2021

Senzory boli v Nitre nainštalované v decembri 2020. Kompletne merania pre celý mesiac sú teda dostupné od začiatku roka 2021. V ďalšej analýze sa zameriame na hodnoty znečisťujúcich látok PM_{10} a NO_2 z prvého

polroku, ktoré boli namerané od 1.januára 2021 00:00 do 30.júna 2021 23:00. Ďalšie mesiace sme nezahŕňali, lebo letné koncentrácie aj tak bývajú nižšie a z hľadiska prekročení limitných hodnôt sú pre to zaujímave skôr zimné mesiace, zaujímavé budú preto aj hodnoty ktoré ešte len budú namerané v decembri. Túto analýzu sme robili ako prípravu na porovnanie hodnôt s výsledkom modelu CALPUFF,



Obr. 8: Boxplot hodnôt NO_2 nameraných rôznymi meracími zaradeniami

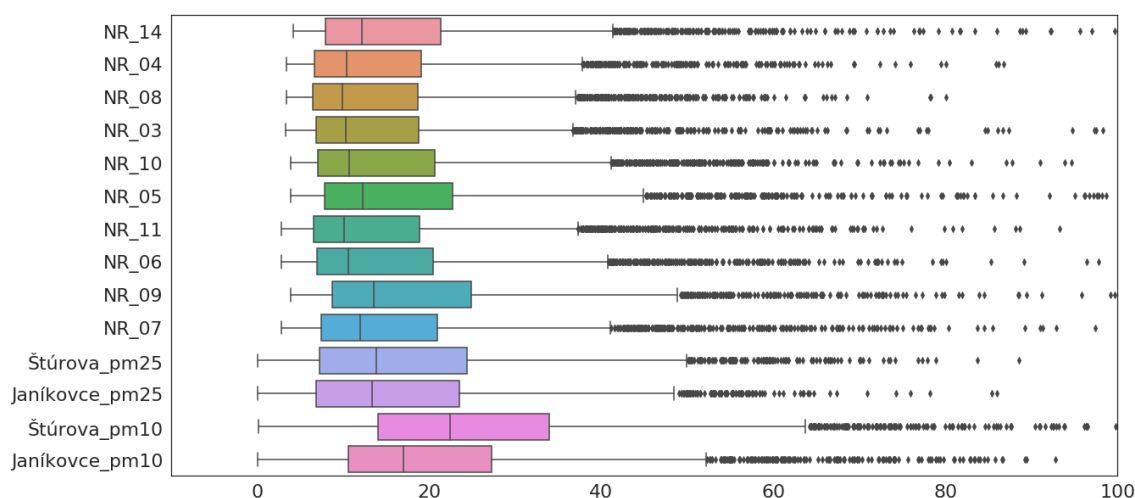


Obr. 9: Korelácia nameraných hodnôt NO_2 nameraných rôznymi meracími zaradeniami

Na Obr.8 sú zobrazené boxploty pre NO_2 . Z obrázku môžeme vidieť, že hodnoty, ktoré sú namerané na senzore NR_14 sú príliš vysoké. Po konzultácii s prevádzkovateľmi senzorov bolo zistené, že tento senzor bol mechanicky poškodený. Hodnoty z tohto senzora teda v ďalšej analýze nebudeme brať do úvahy. Najnižšia priemerná hodnota a najmenší 95%-ný interval nameraných hodnôt boli namerané na stanici v Janíkovciach.

Na stanici na Štúrovej je vyššia priemerná hodnota a aj väčší rozptyl ako v Janíkovciach, keďže ide o dopravnú stanicu. Väčší rozptyl je zapríčinený veľkými rozdielmi v emisiách z dopravy počas dopravnej špičky a mimo nej. K stanici na Štúrovej je geograficky najbližšie senzor NR_04 a aj ich hodnoty rozptylu a priemer sú si pomerne blízke, priemerná hodnota senzoru NR_04, je trochu vyššia čo je pravdepodobne spôsobené tým, že je bližšie dopravnému uzlu Štúrova x Štefánikova trieda. Pri senzoroch NR_05 a NR_06 sú však priemerné hodnoty vyššie a aj rozptyly sú väčšie, čo môže byť spôsobené tým že sú umiestnené príliš blízko ciest, je však potrebné tieto hodnoty porovnať z modelom. Všetky senzory, okrem senzoru NR_09, ktorý nie je v blízkosti cesty, však majú priemerné hodnoty vyššie, ako boli namerané v Janíkovciach a aj ich 95% intervaly sú o dosť vyššie, je to zapríčinené tým, že sú umiestnené v blízkosti ciest, a teda merajú najmä koncentrácie NO_2 z výfukov automobilov. Vzhľadom na polohu senzoru NR_09, ktorý sa nachádza na detskom dopravnom ihrisku, je prekvapivé, aké vysoké hodnoty zaznamenal.

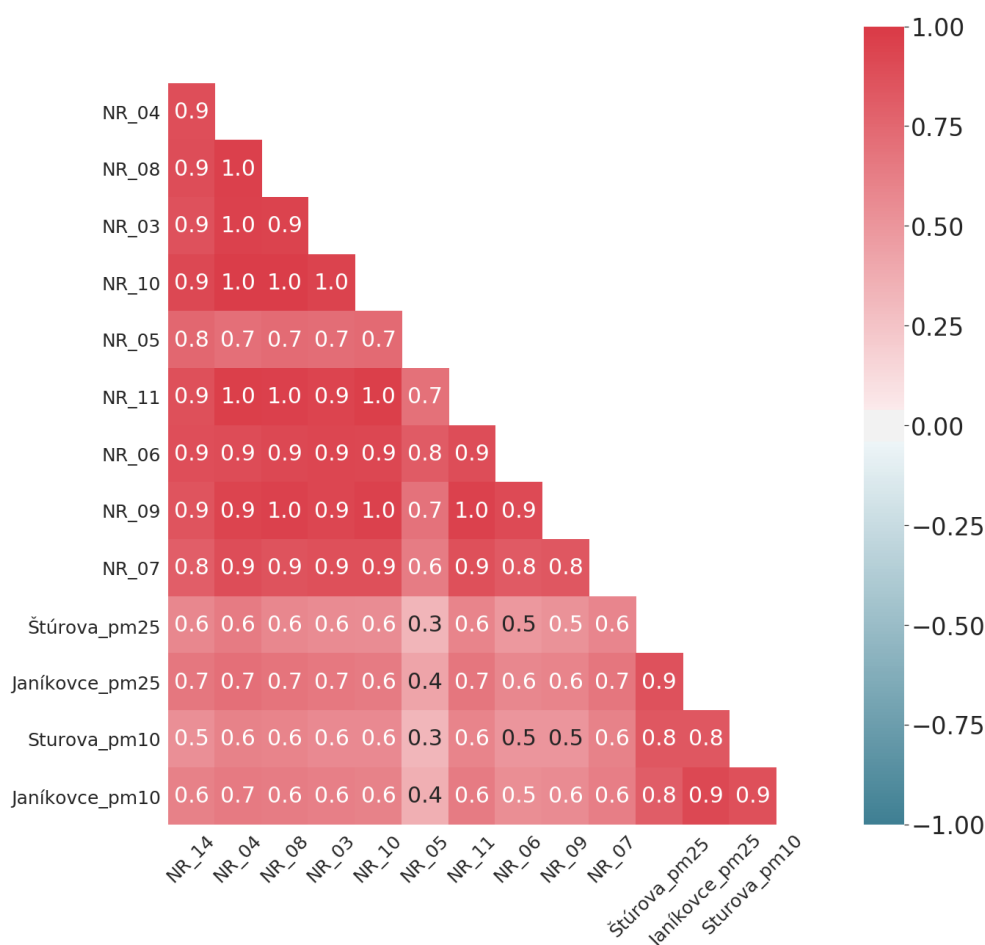
Ďalej je potrebné zistiť, či je medzi hodnotami nameranými na staniciach NMSKO a senzormi nejaká lineárna závislosť. Tú sme zistili pomocou použitia Pearsnovho korelačného koeficientu a výsledná korelačná matica je na Obr.9. Z tejto môžeme vidieť, že stanica na Štúrovej a senzor NR_04 majú pomerne vysokú hodnotu vzájomnej korelácie, vzhľadom na ich geografickú polohu to však nie je prekvapivé. Čo za povšimnutie však stojí vysoká vzájomná korelácia medzi všetkými senzormi, a to aj medzi takými, ktoré sú od seba vzdialené. Prekvapivé sú aj vysoké hodnoty korelácie senzora NR_09 s ostatnými senzormi, keďže tento meria skôr pozad'ové hodnoty. Na porovnanie stanice NMSKO, ktoré podľa typu zaradíme do dvoch rôznych kategórií, majú hodnotu vzájomnej korelácie oveľa nižšiu a to 0,3. Toto môže znamenať, že algoritmus, ktorý kalibruje namerané hodnoty je vychýlený (príliš "silný"). Taktiež je možné, že hodnoty sú si skutočne takto blízke a v takom prípade je vhodné zvoliť odstránenie vysoko korelovaných senzorov, alebo ich premiestnenie na miesto, ktoré ešte nemusí byť pokryté priestorovou reprezentatívnosťou staníc alebo senzorov [11]. Nie je to však na základe teraz dostupných údajov potvrdiť a získané hodnoty je potrebné porovnať s hodnotami z modelu.



Obr. 10: Boxplot hodnôt PM_{10} nameraných rôznymi meracími zaradeniami

Boxplot pre koncentrácie PM_{10} zo senzorov, a PM_{25} a PM_{10} pre namerané hodnoty koncentrácií zo staníc sú na Obr.10. Z tohto boxplotu môžeme vidieť, že hodnoty PM_{10} , ktoré boli namerané senzormi, sú si celkovo veľmi podobné vo veľkosti 95%-ných intervalov, aj hodnote priemeru. Porovnáme preto ďalej aj korelácie medzi nameranými hodnotami. Z korelačnej matice na Obr.11 môžeme vidieť, že niektoré senzory majú $r = 1$, čo znamená, že medzi senzormi je dokonalá lineárna závislosť a neposkytujú žiadnu novú informáciu o časovej variácii znečisťujúcich látok ovzduší. To by mohlo byť spôsobené tým, že senzory síce merajú len hodnoty PM_{10} , ale ako si môžeme z boxplotu všimnúť, rozdelenie nameraných hodnôt, stredné hodnoty a aj 95%-né intervaly nameraných hodnôt sú bližšie hodnotám PM_{25} zo staníc z NMSKO. V takom prípade vysoká korelácia môže byť zapríčinená tým že PM_{25} má vysoký podiel pozad'ových koncentrácií (teda sa len málo mení zo vzdialenosťou). Je však zaujímavé, akú vysokú hodnotu korelácie majú senzory medzi sebou, dve

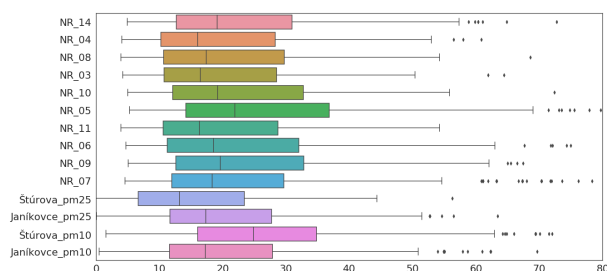
stanice NMSKO navzájom, ale korelácia medzi senzormi a stanicami sú nízke.



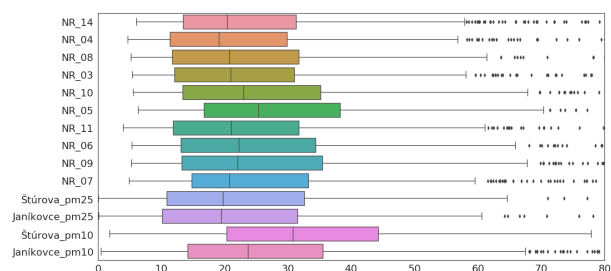
Obr. 11: Korelácia nameraných hodnôt PM_{10} nameraných rôznymi meracími zaradeniami

Ako sme už spomenuli, namerané hodnoty PM_{10} zo senzorov sú bližšie hodnotám PM_{25} zo staníc z NMSKO, než hodnotám PM_{10} , ktoré sú o čosi vyššie. Pri analýze historických dát sme uviedli, že pre koncentrácie týchto znečisťujúcich látok je dôležité, či je alebo nie je vykurovacia sezóna. Preto je potrebné pozrieť si dáta v kratšom rozsahu počas a mimo vykurovacej sezóny. Keďže vo februári a júni boli výrazné epizódy cezhraničného prenosu PM_{10} , pozreli sme sa aj na ne, ale aj na mesiace bez takýchto prípadov. Cezhraničné prenosy sa udiali 6-8.februára, 19.februára, najvýraznejší bol v medzi 22-27. februárom (tento cezhraničný prenos bol spojený as s výraznou anticyklónou, ktorá spôsobila nepriaznivé rozptylové podmienky) a v lete 21-23.06.2021⁵.

⁵<https://dust.aemet.es/forecast/nmmb-bsc-dust-forecast-dust-load>

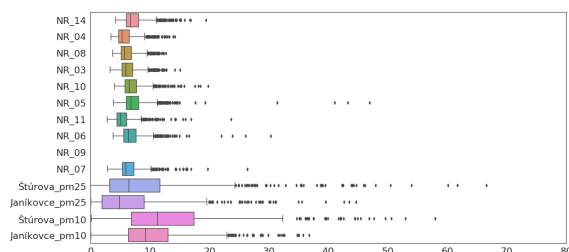


Obr. 12: Boxplot hodnôt PM_{10} nameraných rôznymi meracími zaradeniami v januári 2021.

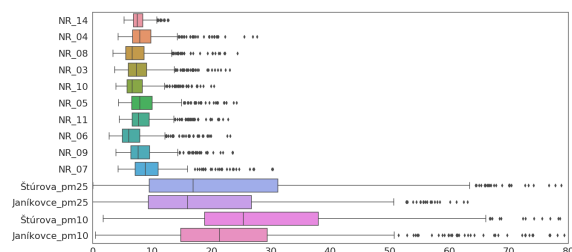


Obr. 13: Boxplot hodnôt PM_{10} nameraných rôznymi meracími zaradeniami vo februári 2021.

Na Obr.12 je zobrazený boxplot pre hodnoty namerané PM_{10} počas januára a na Obr.13 je zobrazený boxplot pre namerané hodnoty PM_{10} počas februára. Z boxplotov z týchto zimných mesiacov nie je vidieť veľký rozdiel medzi stanicami a senzormi, preto je ťažšie vysvetliť, prečo sú priemerné hodnoty PM_{10} z jednotlivých senzorov za obdobie január až jún o toľko nižšie, ako priemerné hodnoty zo staníc. Priemerné hodnoty zo senzorov sú možno trochu nižšie ako priemerné hodnoty zo staníc, ale nedá sa jednoznačne povedať, že by boli bližšie hodnotám PM_{25} .



Obr. 14: Boxplot hodnôt PM_{10} nameraných rôznymi meracími zaradeniami v máji 2021.



Obr. 15: Boxplot hodnôt PM_{10} nameraných rôznymi meracími zaradeniami v júni 2021.

Z Obr.14 a Obr.15, ktoré zobrazujú boxploty pre namerané hodnoty PM_{10} počas mája a júna v tomto poradí, však môžeme vidieť, že rozdiel asi vznikol v týchto letných mesiacoch. Môžeme vidieť, že hodnoty PM_{10} namerané senzormi počas mesiaca máj, boli výrazne nižšie ako boli hodnoty namerané stanicami a v mesiaci jún boli merania zo senzorov výrazne nižšie ako merania PM_{10} aj PM_{25} . Táto júnová odchýlka môže byť spôsobená aj tým, že kalibračný algoritmus mohol automaticky odfiltrovať vyššie hodnoty, ktoré boli spôsobené epizódou cezhraničného prenosu. Príčinou však môže byť aj to, že je algoritmus vychýlený. Preto bude zaujímavé porovnať tieto dáta s výstupmi modelu hodnotami z modelu CALPUFF.

3 Záver

V tomto príspevku sme analyzovali a porovnávali hodnoty nameraných koncentrácií znečisťujúcich látok PM_{10} , PM_{25} a NO_2 v Nitre, ktoré boli získané rôznymi meracími zariadeniami.

V prvej kapitole sme stručne popísali faktory, ktoré ovplyvňujú šírenie znečisťujúcich látok v atmosfére, a teda aj rôzne hodnoty koncentrácií na rôznych meracích pozíciách. Popísali sme stanice a senzory, ktoré monitorujú kvalitu ovzdušia na území Nitry. Následne sme charakterizovali nízkonákladové senzory, ich výhody aj nevýhody, medzi ktoré patrí aj potrebná algoritmická kalibrácia. Popísali sme rôzne metódy akými sa údaje zo senzorov kalibrujú a aj závislosť životnosti senzorov na meteorologických podmienkach. V neposlednom rade sme sa venovali priestorovej reprezentatívnosti, ktorú sme pre stanice na Štúrovej zobrazili a spomenuli sme aj rôzne možnosti výpočtu priestorovej reprezentatívnosti.

V druhej kapitole sme sa venovali samotnej analýze a porovnaniu dát. Popísali sme Pearsonov korelačný koeficient, a jeho využitie pri hodnotení priestorovej reprezentatívnosti a návrhu optimálnej siete monitorovania kvality ovzdušia. Následne sme zanalyzovali a popísali historické dáta z Nitry vďaka čomu sme získali lepšiu predstavu o dlhodobom vývoji a o očakávaných výsledkoch pre rok 2021. Závislosti historických dát sme zobrazili použitím korelačnej matice a grafov zobrazujúcich priemerné mesačné hodnoty pre teplotu, NO_2 , PM_{10} a PM_{25} .

Následne sme porovnali hodnoty namerané senzormi a stanicami NMSKO v období od 1. januára 2021 do 30. júna 2021, pričom sme spozorovali vysoké hodnoty korelačného koeficientu medzi všetkými senzormi, aj takými ktoré sú rôzneho typu. Hodnoty korelačných koeficientov so stanicami NMSKO v prípade PM_{10} boli výrazne nižšie a v prípade NO_2 len nižšie, a to aj s dopravnou stanicou na Štúrovej. Pri porovnávaní PM_{10} sme analyzovali aj veľmi podobné priemerné hodnoty a 95%-né intervaly. V priemerných hodnotách NO_2 a 95%-ných intervaloch boli rozdiely väčšie a senzory, ktoré by sa dali identifikovať ako dopravné, mali priemer a 95%-ný interval podobná ako stanica na Štúrovej ulici. Vysoké hodnoty korelačných koeficientov aj v prípade PM_{10} aj veľká podobnosť 95%-ných intervalov, môžu byť spôsobené mnohými faktormi, medzi inými aj vychýleným kalibračným algoritmom alebo nevhodným umiestnením. Preto je ďalším krokom túto oblasť a hodnotené obdobie simulovať matematickým modelom a namerané hodnoty porovnať s výstupmi modelu. Meteorologických vstupy (výstupy diagnostického modelu CALMET) pre model CALPUFF sme pripravili, podobne ako emisné vstupy z vykurovania domácností, spustenie modelu CALPUFF a vyhodnotenie výsledkov bude ďalším pokračovaním tejto práce.

Literatúra

- [1] AL-ADWANI, Suad, et al. A surrogate-based optimization methodology for the optimal design of an air quality monitoring network. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 2015, 93.7: 1176-1187.
- [2] ANDĚL, Jiří. *Statistické metody*. Matfyzpress, 2007. ISBN 80-7378-003-8
- [3] CORDERO, José María; BERGE, Rafael; NARROS, Adolfo. Using statistical methods to carry out in field calibrations of low cost air quality sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2018, 267: 245-254.
- [4] CONCAS, Francesco, et al. Low-cost outdoor air quality monitoring and sensor calibration: A survey and critical analysis. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 2021, 17.2: 1-44.
- [5] DUYZER, Jan, et al. Representativeness of air quality monitoring networks. *Atmospheric Environment*, 2015, 104: 88-101.
- [6] JANSSEN, S., Deutsch, F., Dumont, G., Fierens, F., Mensink, G. A Statistical Approach for the Spatial Representativeness of Air Quality Monitoring Stations and the Relevance for Model Validation. In book: *Air Pollution Modeling and Its Application XIX*. 2008. 10.1007/978-1-4020-8453-9_50.
- [7] KRACHT, O., et al. Spatial representativeness of air quality monitoring sites: Outcomes of the FAIR-MODE/AQUILA intercomparison exercise. EUR. 28987. EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2017.
- [8] KRACHT, Oliver; GERBOLES, Michel. Spatial representativeness evaluation of air quality monitoring sites by point-centred variography. *International Journal of Environment and Pollution*, 2019, 65.1-3: 229-245.
- [9] LEFEBVRE W, Van Poppel M, Maiheu B, Janssen S, Dons E. Evaluation of the RIO-IFDM-street canyon model chain. *Atmos Environ*. 2013 Oct;77:325–337
- [10] VARDOULAKIS, Sotiris, et al. Spatial variability of air pollution in the vicinity of a permanent monitoring station in central Paris. *Atmospheric Environment*, 2005, 39.15: 2725-2736.

-
- [11] SOARES, Joana, et al. The use of hierarchical clustering for the design of optimized monitoring networks. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2018, 18.9: 6543-6566.
- [12] Správa o kvalite ovzdušia v Slovenskej republike. 2020. SHMÚ, Bratislava, október 221. Dostupné: http://www.shmu.sk/File/oko/rocenky/2020_Sprava_o_KO_v_SR_v2.pdf