

## Vplyv klimatických faktorov a využitie viacnásobnej lineárnej regresie pri modelovaní koncentrácií PM<sub>10</sub> na lokalitách riadenej kvality ovzdušia

Vladimír Nemček  
Slovenský Hydrometeorologický Ústav

### Anotácia

Na siedmich lokalitách v štyroch mestách boli analyzované údaje z klimatologických staníc a AMS staníc monitorujúcich znečistenie ovzdušia. Využitím korelačnej analýzy a viacnásobnej lineárnej regresie bol vyhodnotený vplyv klimatických faktorov na priemerné denné koncentrácie PM<sub>10</sub>. Priemerná rýchlosť vetra sa ukázala na väčšine lokalít ako najviac preukazný faktor ovplyvňujúci koncentrácie PM<sub>10</sub>. Ostatné faktory nebolo možné zhodnotiť ako faktory s účinkom na všetkých lokalitách. Viacnásobná lineárna regresia na viacerých lokalitách určila kombináciu troch faktorov – priemernej dennej teploty, trvania hmly a priemernej dennej rýchlosti vetra – ako najlepšiu kombináciu popisujúcu variabilitu priemernej dennej koncentrácie PM<sub>10</sub>.

### Annotation

On seven locations in four cities were analyzed data from climatological stations and AMS stations monitoring air pollution. Using of correlation analysis and multiple linear regression was evaluated influence of climatic factors on daily averaged concentrations PM<sub>10</sub>. On most sites averaged wind speed was most provable factor influencing concentrations of PM<sub>10</sub>. Other factors were not possible to evaluated as factors with impact on all sites. Multiple linear regression on most sites identified a combination of three factors – averaged daily temperature, averaged daily wind speed and duration of fog – as the best combination describing the variability of daily averaged concentration PM<sub>10</sub>.

### Kľúčové slová

koncentrácia PM<sub>10</sub>, modelovanie, viacnásobná lineárna regresia, predikcia koncentrácie

### Abstract

Many localities in Slovakia are exposed to high concentrations of PM<sub>10</sub> particles, especially in winter season. This is especially due to increased emissions from household heating and worsened conditions for atmospheric dispersion. Four locations were selected for this study: Košice, Banská Bystrica, Prievidza and Ružomberok – where the influence of meteorological factors was analysed. There was a total of 7 AMS stations operating in the locations during 2003-2014 period - two in Košice, Prievidza and Banská Bystrica, and one in Ružomberok. Main goals of this study were: 1. identifying meteorological factors influencing PM<sub>10</sub> concentrations on each station, 2. setting up a multiple regression model based on a best set of climatic factors. Data were analysed only for “winter heating period”, including months of January, February, March, November and December. Five stations were described as urban background stations and two were traffic stations (Košice – Štúrova ulica and Banská Bystrica – Štefánikovo nábrežie). Two statistical methods were selected for data analysis – Pearson correlation method and multiple linear regression. The correlation of daily averaged concentration of PM<sub>10</sub> against five meteorological factors (average day temperature, average wind speed, average day humidity, duration of fog during the day and precipitation amount) was analyzed. The multiple linear regression was tested using various combinations of meteorological factors describing the variation of PM<sub>10</sub> concentration. The highest correlation coefficient was found between the PM<sub>10</sub> concentrations and wind speed for Banská Bystrica, Štefánikovo nábrežie. Wind speed was the main meteorological factor influencing PM<sub>10</sub> concentrations for all AMS stations but Ružomberok, where the wind speed was second most important factor after temperature (Tab. 2). The duration of fog was in low correlation to the PM<sub>10</sub> concentration values, however it was important in combination with wind speed and temperature in multiple linear regression. On the two stations in Prievidza was identified higher correlation coefficient for temperature. Climatic factors were used within multiple linear regression model for description of variability PM<sub>10</sub> daily averaged concentration. Best predictors with highest R<sup>2</sup> coefficient were temperature, wind speed and duration of fog. However by two stations in Košice this combination of climatic factors was insufficient for describing variability of PM<sub>10</sub> concentrations. In this case correlation relationship was not found among temperature and concentration. There is assumption that both stations may be influenced because higher traffic emissions were present. Also the background urban station in Košice may

record concentration originating from traffic emissions in certain meteorological situation. Multiple linear regression model for three factors (temperature, wind speed and duration of fog) was used for calculation of modeled daily averaged PM<sub>10</sub> concentrations. Both concentrations were compared using of graph (Obr. 1), Trend was similar for both values – modeled and measured. Measured concentrations reached markedly higher values than modeled concentrations. Similar trend was identified by annual average concentrations – modeled and measured.

## Úvod

Monitorovanie kvality ovzdušia pomocou merania koncentrácií znečisťujúcich látok patrí k základným spôsobom získavania informácií o ovzduší. Nedostatočný počet monitorovacích staníc, nerovnomerné rozloženie na území a finančná náročnosť stimuluje k hľadaniu doplňujúcich riešení formou modelovania znečistenia ovzdušia, a tiež k objasňovaniu vzťahov vplývajúcich na úroveň znečistenia. Modelovanie pomocou štatistických modelov umožňuje do určitej miery odhadnúť vývoj situácie v budúcnosti na základe vstupných údajov (Vlachogianni et al. 2011). Využitiu štatistických modelov na predpovedanie denných koncentrácií NO<sub>x</sub> a PM<sub>10</sub> v mestských oblastiach sa venovali viaceré práce (Kukkonen et al., 2003, Basurko et al., 2006, Lykoudis et al., 2008). Viacnásobné lineárne regresné modely (Cardelino et al. 2001, Paschalidou et al. 2009) boli použité k predpovedaniu koncentrácií znečisťujúcich látok s pozoruhodnou úspešnosťou. Koncentrácie znečisťujúcich látok závisia od zdrojov znečistenia a tiež od meteorologických podmienok (Jacobson, 2002), čo bolo využité aj v tejto práci.

V súčasnosti sa dostávajú do popredia požiadavky na predpovedanie znečistenia ovzdušia z dôvodu ohrozenia zdravia obyvateľstva a poškodzovania prostredia.

Ciele tejto práce sú:

1. identifikácia klimatických faktorov ovplyvňujúcich koncentrácie PM<sub>10</sub>,
2. vytvorenie modelu čo najlepšie vystihujúceho variabilitu koncentrácií PM<sub>10</sub> na základe lineárnej regresie

Táto práca bola zameraná na zhodnotenie vplyvu meteorologických podmienok na koncentrácie PM<sub>10</sub> v ovzduší, najmä z dôvodu dostupnosti pravidelných meraní na klimatologických stanicach a relatívne jednoduchého využitia týchto údajov na rôznych lokalitách. Vzťah klimatických faktorov a denných koncentrácií PM<sub>10</sub> a aplikácia modelu viacnásobnej lineárnej regresie bol skúmaný na siedmich lokalitách. Všetkých sedem lokalít sa nachádzalo v oblastiach riadenia kvality ovzdušia. Zákon o ovzduší nariaďuje vyhlásenie oblastí riadenia kvality ovzdušia v miestach, v ktorých bola prekročená zákonom stanovená limitná hodnota niektorej znečisťujúcej látky. Tieto oblasti sú stanovené na základe výsledkov meraní koncentrácií znečisťujúcich látok a nadväznou aplikáciou matematických modelov (SHMÚ, 2015a).

Výber lokalít pre túto prácu bral do úvahy rôznorodosť klimatických podmienok aj emisných zdrojov. Sledovaním a analýzou vzťahov na odlišných lokalitách bol skúmaný význam jednotlivých faktorov a ich kombinácií na priemerné denné koncentrácie PM<sub>10</sub>.

## Metódy

### *Klimatické údaje*

V práci boli použité priemerné denné údaje z klimatologických staníc – Košice-letisko, Prievidza, Ružomberok a Banská Bystrica-Zelená. Košice patria do teplej, mierne suchej oblasti s chladnou zimou, Prievidza sa zaraďuje do teplej, mierne vlhkej oblasti s miernou zimou, Banská Bystrica do teplej, vlhkej oblasti s chladnou zimou a Ružomberok do mierne teplej, veľmi vlhkej vrchovinej oblasti podľa klimatickej klasifikácie (SHMÚ 2015b). Košice a Prievidza patria s priemernými ročnými rýchlosťami vetra k lepšie ventilovaným, zatiaľ čo Ružomberok a Banská Bystrica majú priemerné ročné rýchlosti vetra nižšie, s horšími rozptylovými podmienkami. Údaje boli analyzované za roky 2003 – 2014. Boli analyzované tieto klimatické ukazovatele: priemerná denná teplota, priemerná denná relatívna vlhkosť vzduchu, priemerná denná rýchlosť vetra, denný úhrn zrážok a trvanie hmly. Priemerná denná teplota, priemerná relatívna vlhkosť vzduchu a priemerná denná rýchlosť vetra boli vypočítané z termínových meraní vykonaných 3-krát počas dňa.

### Údaje znečistenia ovzdušia

V rámci práce sme analyzovali údaje z rokov 2003 – 2014 zo štyroch miest (Ružomberok, Banská Bystrica, Prievidza a Košice). Okrem Ružomberka sa počas tohto obdobia umiestnenie staníc automatického monitorovacieho systému (AMS) v rámci miest menilo. Z toho dôvodu bolo potrebné zvlášť analyzovať každú lokalitu umiestnenia AMS stanice. Spolu bolo teda vyhodnotených 7 lokalít – Ružomberok, Banská Bystrica (Štefánikovo nábregie, Námestie Slobody), Košice (Strojárska ulica, Štúrova ulica) a Prievidza (Malonecpalská ulica, Ulica J. Hollého). Analýza prebiehala iba za mesiace január, február, marec, november a december, teda v období, kedy nastáva tzv. “vykurovacía sezóna” a kedy dochádza k zhoršeniu kvality ovzdušia v spomínaných lokalitách. Dôležité bolo umiestnenie staníc - každá stanica je charakterizovaná ako pozad'ová alebo dopravná, podľa prevažujúcich najbližších zdrojov emisií. Na jednotlivých staniciach boli početné výpadky v meraní koncentrácií PM<sub>10</sub>. V tabuľke je uvedený počet chýbajúcich údajov a doba trvania merania stanice na lokalite a zároveň typ stanice (Tab. 1).

Tab. 1 Charakteristika staníc merajúcich znečistenie ovzdušia

Názov stanice	Typ stanice	Doba trvania merania (roky)	Počet nameraných hodnôt	Počet chýbajúcich hodnôt (výpadky meraní)
Banská Bystrica – Námestie Slobody	pozad'ová	2003-2007	726	30
Banská Bystrica – Štefánikovo nábregie	dopravná	2008-2014	1029	30
Košice – Strojárska ulica	pozad'ová	2003-2009	997	1
Košice – Štúrova ulica	dopravná	2003-2008	888	9
Prievidza – Malonecpalská ulica	pozad'ová	2007-2014	1186	24
Prievidza – Ulica J. Hollého	pozad'ová	2003-2006	589	16
Ružomberok – Riadok	pozad'ová	2003-2014	1695	120

### Štatistické metódy

V práci boli využité dve štatistické metódy - analýza vzťahu medzi dvoma premennými pomocou Pearsonovho korelačného koeficientu a viacnásobná lineárna regresia. Korelačný koeficient bol použitý na objasnenie vzťahu medzi priemernou dennou koncentráciou PM<sub>10</sub> a klimatickým faktorom (t. j. priemerná denná teplota, priemerná denná relatívna vlhkosť vzduchu, priemerná denná rýchlosť vetra, denný úhrn zrážok, trvanie hmly) na každej lokalite zvlášť. Údaje priemerných denných koncentrácií a klimatických faktorov boli skontrolované či spĺňajú podmienky pre analýzu pomocou korelačného koeficientu a viacnásobnej lineárnej regresie (normálne rozdelenie hodnôt, nezávislosť a linearita). Lineárna regresia a korelačný koeficient sú dostatočne robustné metódy voči odchýlkam od normálneho rozdelenia (Edgell and Noon 1984). Jednotlivé faktory boli navzájom kombinované v modeli viacnásobnej lineárnej regresie na objasnenie variability (R<sup>2</sup>) závislej premennej – dennej priemernej koncentrácie PM<sub>10</sub>. Následne boli pre vybranú lokalitu vypočítané modelové koncentrácie a porovnané s nameranými hodnotami. Všetky analýzy boli robené v štatistickom programe R. Grafické znázornenia a porovnaná boli vykonané tiež v programe R a v programe LibreOffice.

### Výsledky

#### Vplyv klimatických faktorov v zimnom období na denné koncentrácie PM<sub>10</sub>

Pre analýzu vplyvu klimatických faktorov počas zimného obdobia na priemerné denné koncentrácie PM<sub>10</sub> boli použité údaje o koncentráciách PM<sub>10</sub> zo siedmich staníc AMS. Pomocou Pearsonovho korelačného koeficientu bol skúmaný vzťah medzi priemernou dennou hodnotou jednotlivého klimatického faktora a priemernou dennou koncentráciou PM<sub>10</sub>. Najvyššia miera korelácie ( $r = -0.51$ ,  $p < 0.05$ ) bola zaznamenaná pri korelácií dennej priemernej rýchlosti vetra a priemernej dennej koncentrácií PM<sub>10</sub> v lokalite Banská Bystrica, Štefánikovo nábregie. Na ostatných AMS staniciach bol vplyv rýchlosti vetra nižší (Tab. 2). Na AMS stanici v Ružomberku bol najvýraznejší vplyv ( $r = -0.44$ ,  $p < 0.05$ ) priemernej dennej teploty na priemerné denné koncentrácie PM<sub>10</sub>. Výraznejší vplyv priemernej dennej teploty bol zaznamenaný aj

na oboch lokalitách v Prievidzi a v Banskej Bystrici na Štefánikovom nábreží (Tab. 2). Na stanici AMS stanici v Ružomberku bol zistený korelačný vzťah s denným priemerným úhrnom zrážok ( $r = -0.21$ ,  $p < 0.05$ ). Vplyv denného úhrnu zrážok na priemerné denné koncentrácie  $PM_{10}$  bol na ostatných lokalitách výrazne nižší (Tab. 2). Korelačný vzťah medzi priemernou dennou vlhkosťou a priemernou dennou koncentráciou  $PM_{10}$  bol zistený v Košiciach na Strojárskej ulici ( $r = 0.2$ ,  $p < 0.05$ ) a v Banskej Bystrici na Štefánikovom nábreží ( $r = 0.21$ ,  $p < 0.05$ ). Na oboch lokalitách v Prievidzi bol zaznamenaný vplyv doby trvania hmly na priemerné denné koncentrácie  $PM_{10}$  (Tab. 2). Analyzované údaje z väčšiny ostatných lokalít neobsahovali dostatočný počet záznamov o trvaní hmly. Na potvrdenie vplyvu tohto faktora na ďalších lokalitách je potrebné analyzovať väčšiu vzorku údajov.

*Tab. 2 Porovnanie korelačných koeficientov na jednotlivých staniách*

Lokalita	Skúmaný vzťah	Hodnota korelačného koeficientu (r)	Štatistická významnosť (p)
Banská Bystrica – Štefánikovo nábrežie	koncentrácia/vietor	-0.51	0.00
Banská Bystrica – Námestie Slobody	koncentrácia/vietor	-0.49	0.00
Prievidza – Ulica J. Hollého	koncentrácia/vietor	-0.47	0.00
Ružomberok – Riadok	koncentrácia/priemerná teplota	-0.44	0.00
Prievidza – Malonecpalská ulica	koncentrácia/vietor	-0.43	0.00
Košice – Strojárska ulica	koncentrácia/vietor	-0.40	0.00
Košice – Štúrova ulica	koncentrácia/vietor	-0.34	0.00
Prievidza – Malonecpalská ulica	koncentrácia/priemerná teplota	-0.32	0.00
Prievidza – Ulica J. Hollého	koncentrácia/priemerná teplota	-0.26	0.00
Ružomberok – Riadok	koncentrácia/úhrn zrážok	-0.21	0.00
Ružomberok – Riadok	koncentrácia/vietor	-0.21	0.00
Banská Bystrica – Štefánikovo nábrežie	koncentrácia/priemerná teplota	-0.20	0.00
Banská Bystrica – Námestie Slobody	koncentrácia/priemerná teplota	-0.18	0.00
Prievidza – Ulica J. Hollého	koncentrácia/úhrn zrážok	-0.17	0.00
Prievidza – Malonecpalská ulica	koncentrácia/úhrn zrážok	-0.16	0.00
Košice – Štúrova ulica	koncentrácia/úhrn zrážok	-0.12	0.00
Banská Bystrica – Štefánikovo nábrežie	koncentrácia/úhrn zrážok	-0.08	0.05
Banská Bystrica – Námestie Slobody	koncentrácia/úhrn zrážok	-0.06	0.25
Košice – Strojárska ulica	koncentrácia/priemerná teplota	-0.06	0.07
Košice – Štúrova ulica	koncentrácia/priemerná teplota	-0.05	0.15
Banská Bystrica – Námestie Slobody	koncentrácia/trvanie hmly	0.00	0.99
Banská Bystrica – Štefánikovo nábrežie	koncentrácia/trvanie hmly	0.00	0.13
Prievidza – Malonecpalská ulica	koncentrácia/trvanie hmly	0.00	0.00
Prievidza – Ulica J. Hollého	koncentrácia/trvanie hmly	0.00	0.00
Ružomberok – Riadok	koncentrácia/trvanie hmly	0.00	0.98
Košice – Štúrova ulica	koncentrácia/priemerná vlhkosť	0.07	0.03
Ružomberok – Riadok	koncentrácia/priemerná vlhkosť	0.09	0.00
Košice – Strojárska ulica	koncentrácia/úhrn zrážok	0.10	0.01
Prievidza – Ulica J. Hollého	koncentrácia/priemerná vlhkosť	0.13	0.00
Košice – Štúrova ulica	koncentrácia/trvanie hmly	0.13	0.03
Košice – Strojárska ulica	koncentrácia/trvanie hmly	0.16	0.00
Banská Bystrica – Námestie Slobody	koncentrácia/priemerná vlhkosť	0.18	0.00
Prievidza – Malonecpalská ulica	koncentrácia/priemerná vlhkosť	0.19	0.00
Košice – Strojárska ulica	koncentrácia/priemerná vlhkosť	0.20	0.00
Banská Bystrica – Štefánikovo nábrežie	koncentrácia/priemerná vlhkosť	0.21	0.00

*Využitelnosť vplyvu klimatických faktorov na modelovanie koncentrácií PM<sub>10</sub>*

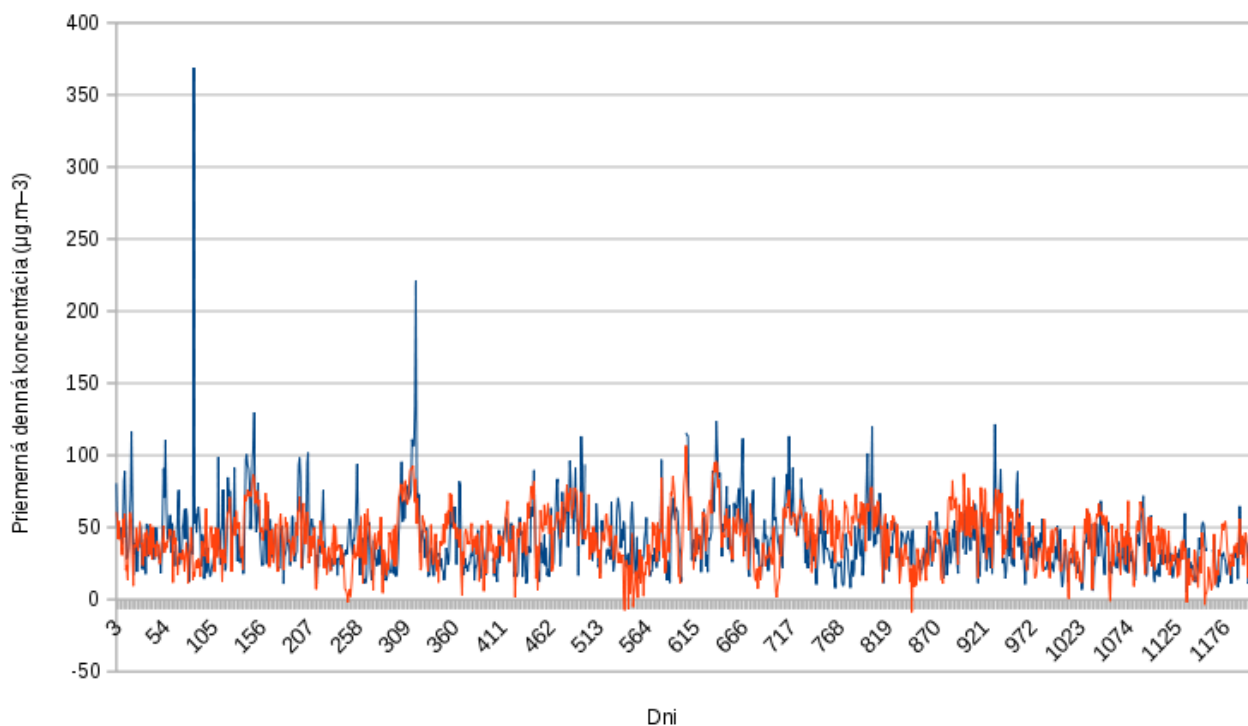
Využitím viacnásobnej regresie boli stanovené klimatické faktory, ktorých kombinácie najlepšie objasňujú variabilitu priemerných denných koncentrácií PM<sub>10</sub> (Tab. 3). Najvyššia hodnota koeficientu R<sup>2</sup> bola dosiahnutá využitím štyroch klimatických faktorov (priemerná denná teplota, doba trvania hmly, priemerná denná rýchlosť vetra a denný úhrn zrážok) na AMS v Ružomberku. Koeficient R<sup>2</sup> pre tri klimatické faktory (priemerná denná teplota, doba trvania hmly a priemerná denná rýchlosť vetra) bol v rozsahu 0.44 až 0.07. Tieto vybrané faktory najpresnejšie popisovali variabilitu závislej premennej. Najnižšie hodnoty koeficientu R<sup>2</sup> využitím týchto troch faktorov boli na oboch lokalitách v Košiciach. Ostatné trojkombinácie klimatických faktorov mali nižší koeficient R<sup>2</sup>. Na lokalitách v Košiciach – Strojárska a Štúrova ulica, regresný model popisoval variabilitu najhoršie.

**Tab. 3 Porovnanie kombinácií klimatických faktorov použitých pri viacnásobnej lineárnej regresii na rôznych lokalitách**

Lokalita	Klimatické faktory použité pri viacnásobnej lineárnej regresii	R2	Štatistická významnosť (p)
Ružomberok – Riadok	teplota, trvanie hmly, vietor, úhrn zrážok	0.48	0.00
Prievidza – Malonecpalská ulica	teplota, vlhkosť, trvanie hmly, vietor	0.44	0.00
Prievidza – Malonecpalská ulica	teplota, trvanie hmly, vietor	0.44	0.00
Prievidza – Ulica J. Hollého	teplota, vlhkosť, trvanie hmly, vietor	0.43	0.00
Prievidza – Ulica J. Hollého	teplota, trvanie hmly, vietor	0.43	0.00
Ružomberok – Riadok	teplota, vlhkosť, trvanie hmly, vietor	0.40	0.00
Ružomberok – Riadok	teplota, trvanie hmly, vietor	0.40	0.00
Ružomberok – Riadok	teplota, trvanie hmly	0.39	0.00
Prievidza – Ulica J. Hollého	teplota, vlhkosť, trvanie hmly, vietor, úhrn zrážok	0.38	0.00
Prievidza – Ulica J. Hollého	teplota, trvanie hmly, vietor, úhrn zrážok	0.38	0.00
Banská Bystrica – Štefánikovo nábrežie	teplota, vlhkosť, trvanie hmly, vietor	0.36	0.00
Banská Bystrica – Štefánikovo nábrežie	teplota, trvanie hmly, vietor	0.32	0.00
Banská Bystrica – Námestie Slobody	teplota, trvanie hmly, vietor	0.31	0.03
Banská Bystrica – Štefánikovo nábrežie	teplota, vietor	0.28	0.00
Banská Bystrica – Námestie Slobody	teplota, vlhkosť, vietor	0.25	0.00
Banská Bystrica – Námestie Slobody	teplota, vietor	0.24	0.00
Prievidza – Malonecpalská ulica	teplota, vlhkosť, vietor, úhrn zrážok	0.24	0.00
Košice – Strojárska ulica	teplota, vlhkosť, trvanie hmly, vietor, úhrn zrážok	0.24	0.00
Košice – Strojárska ulica	teplota, vlhkosť, trvanie hmly, vietor, úhrn zrážok	0.20	0.00
Košice – Štúrova ulica	teplota, vlhkosť, trvanie hmly, vietor, úhrn zrážok	0.17	0.00
Košice – Štúrova ulica	teplota, vlhkosť, hmly, vietor	0.14	0.00
Košice – Štúrova ulica	teplota, vietor	0.12	0.00
Košice – Strojárska ulica	teplota, trvanie hmly, vietor	0.11	0.00
Košice – Štúrova ulica	teplota, trvanie hmly, vietor	0.07	0.00

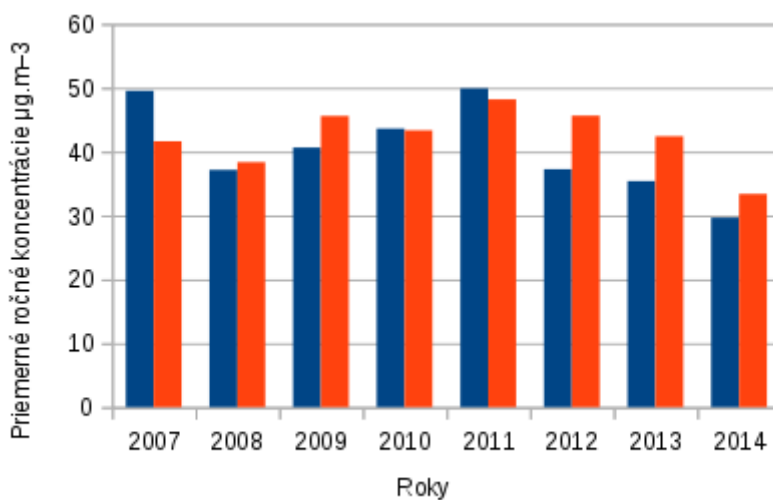
Porovnanie nameraných a modelovaných hodnôt priemerných denných koncentrácií PM<sub>10</sub> na lokalite Prievidza – Malonecpalská ulica (Obr. 1) ukazuje odlišnosti v oboch hodnotách, najmä nezachytávanie výrazných nameraných maximálnych hodnôt. Nízke hodnoty R<sup>2</sup> koeficientu na lokalitách v Košiciach súvisia s nízkou závislosťou priemernej dennej koncentrácie od priemernej dennej teploty na týchto lokalitách.

**Obr. 1 Porovnanie nameraných (modrá) a modelovaných (oranžová) priemerných denných koncentrácií PM<sub>10</sub> využitím viacnásobnej regresie (použité klim. faktory – vietor, teplota a trvanie hmly) na stanici Prievidza – Malonecpalská ulica**



Z modelovaných priemerných denných koncentrácií PM<sub>10</sub> boli na AMS Malonecpalská v Prievidzi vypočítané priemerné ročné koncentrácie, ktoré boli porovnané s nameranými hodnotami (Obr. 2).

**Obr. 2 Porovnanie nameraných (modrá) a modelovaných (oranžová) priemerných ročných koncentrácií PM<sub>10</sub> na stanici Prievidza – Malonecpalská ulica**



## Záver

Vplyv klimatických faktorov na znečistenie ovzdušia bol skúmaný v našich podmienkach v zimnom období (november - marec). Z meraných klimatických parametrov bol predpokladaný najväčší vplyv rýchlosti vetra na koncentrácie prachových častíc (PM<sub>10</sub>). Z predchádzajúcich analýz a vizuálneho porovnania nameraných priemerných denných koncentrácií a hodnôt klimatických parametrov bol predpokladaný aj vplyv trvania hmly na koncentrácie. Tento faktor ale na väčšine lokalít nebol štatisticky významný, čo bolo pravdepodobne spôsobené predovšetkým malou vzorkou údajov pre tieto lokality. Pre lokality Ružomberok a Banská Bystrica – Námestie Slobody nebol nájdený vzťah pomocou korelácie, avšak po doplnení údajov o

dobe trvania hmly do modelu viacnásobnej regresie model obsahol väčšiu variabilitu závislej premennej. Nerovnaký vplyv na koncentrácie na lokalitách bol zaznamenaný pri dennom úhrne zrážok. Najvyššia korelácia bola zistená na lokalite v Ružomberku, na ostatných lokalitách bol vzťah menej významný. Priemerná relatívna vlhkosť vzduchu vplývala na koncentrácie PM<sub>10</sub> významnejšie len na lokalitách v Košiciach na Strojárskej ulici a v Banskej Bystrici na Štefánikovom nábreží. Oba klimatické faktory (relatívna vlhkosť vzduchu a úhrn zrážok) zlepšili popis variability pri viacnásobnej lineárnej regresii v prípade lokality Ružomberok, Banská Bystrica – Štefánikovo nábrežie a oboch lokalít v Košiciach.

Podobné modely využívajúce viacnásobnú lineárnu regresiu boli vytvorené aj pre iné lokality vo svete (Vlachogianni et al., 2011). Tieto modely boli vypracované za účelom predikcie maximálnych a denných priemerných koncentrácií PM<sub>10</sub> a ďalších polutantov. Problematické pri týchto modeloch je potreba kvalitných vstupných údajov z klimatických staníc a údaje z AMS staníc. Treba vziať do úvahy aj charakter AMS staníc, ich umiestnenie a vystavenie zdrojom znečistenia. Model najlepšie popisoval variabilitu priemerných denných koncentrácií PM<sub>10</sub> na mestských pozad'ových staniciach v Prievidzi na obidvoch lokalitách a v Ružomberku. Na týchto staniciach bola zistená vyššia korelácia priemerných denných koncentrácií PM<sub>10</sub> s priemernou dennou teplotou. Je predpoklad, že je to spôsobené vplyvom teploty na kúrenie v budovách. V Banskej Bystrici na Námestí Slobody a v Košiciach na Strojárskej ulici boli stanice charakterizované ako mestské pozad'ové, ale obe mohli byť za určitých podmienok ovplyvnené dopravnými emisiami. Tieto emisie menej závisia od teploty prostredia, preto výsledná korelácia medzi priemernou dennou teplotou a priemernými dennými koncentraciami PM<sub>10</sub> mohla byť nižšej alebo žiadnej hodnoty. Po spriemerovaní modelovaných denných hodnôt koncentrácií na priemerné ročné hodnoty môžeme výsledky modelu porovnať s nameranými hodnotami v širšom merítku. Na príklade AMS stanice umiestnenej v Prievidzi na Malonecpalskej ulici je vidieť zachytenie trendu modelom v porovnaní s nameranými hodnotami. V tomto prípade boli použité koncentrácie PM<sub>10</sub> vypočítané modelom viacnásobnej regresie využitím troch klimatických faktorov (priemerná denná teplota, priemerná rýchlosť vetra a trvanie hmly), ktorý najlepšie popisoval variabilitu závislej premennej.

Model viacnásobnej lineárnej regresie popisuje na všetkých analyzovaných lokalitách iba menšiu časť variability ( $R^2 < 0.5$ ), súčasné možnosti využitia modelu pre predpoveď vývoja priemerných denných koncentrácií sú preto nízke. Zlepšenie schopnosti predikcie modelu v budúcnosti bude závisieť od umiestnenia stanice, presnosti klimatologických údajov a charakteru výstupných modelových hodnôt - okrem priemerných denných koncentrácií môžu byť modelované napr. maximálne hodnoty koncentrácií (Vlachogianni et al. 2011).

## Literatúra

- Basurko E., Berastegi G. a Madariaga I. 2006. Regression and multilayer perceptron-based models to forecast hourly O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> levels in the Bilbao area. *Environmental Modelling & Software* 21(4): 430-446
- Cardelino C., Chang M., John J., Murphey B., Cordle J., Ballagas R., Patterson L., Powell K., Stogner J. a Zimmer-Dauphinee S. 2001. Ozone predictions in Atlanta, Georgia: Analysis of the 1999 Ozone Season. *Journal of the Air & Waste Management Association* 51(8): 1227-1236
- Edgell S.E. a S.M. Noon. 1984. Effect of violation of normality on the *t*-test of the correlation coefficient. *Psychological Bulletin* 95: 576-583.
- Kukkonen J., Partanen L., Karpinen A., Ruuskanen J., Junninen H., Kolehmainen M., Niska H., Dorling S., Chatterton T., Foxall R. a Cawley G. 2003. Extensive evaluation of neural network models for the prediction of NO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub> concentrations, compared with a deterministic modelling system and measurements in central Helsinki. *Atmospheric Environment* 37(32): 4539-4550
- Jacobson M. 2002. *Atmospheric pollution: history, science, and regulation*. Cambridge University Press. ISBN 0521010446. 399 pp.
- Lykoudis S., Psounis N., Mavraklis A. a Christides A. 2008. Predicting photochemical pollution in an industrial area. *Environmental Monitoring and Assessment* 142(1): 279-288
- Paschalidou A. K., Kassomenos P. A. a Bartzokas A. 2009. A comparative study on various statistical techniques predicting ozone concentrations: implications to environmental management. *Environmental Monitoring and Assessment* 148(1): 277-289



Slovenský hydrometeorologický ústav. 2015a. Hodnotenie kvality ovzdušia v Slovenskej republike 2013. Bratislava. 70 pp.

Slovenský hydrometeorologický ústav. 2015b. Klimatický atlas Slovenska. <http://klimat.shmu.sk/kas/>

Vlachogianni A., Kassomenos P., Karppinen A., Karakitsios S. a Kukkonen J. 2011. Evaluation of a multiple regression model for the forecasting of the concentrations of NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub> in Athens and Helsinki. *Science of the Total Environment* 409: 1559-1571