



Metódy vyhodnocovania znečisťovania ovzdušia z cestnej dopravy

Dušan JANDAČKA

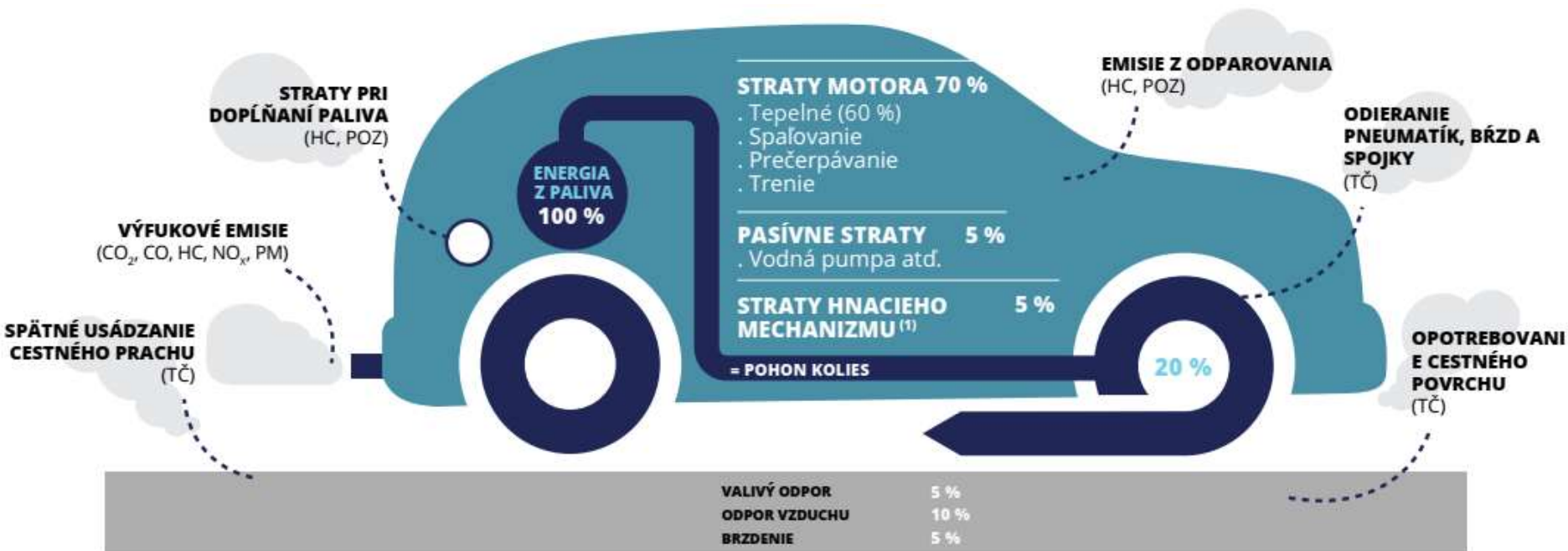
X. ročník medzinárodnej konferencie

**ŽIVOTNÉ PROSTREDIE MIEST A ENVIRONMENTÁLNA
REGIONALIZÁCIA SR**

Lepší mestský život vďaka kvalitnému životnému prostrediu

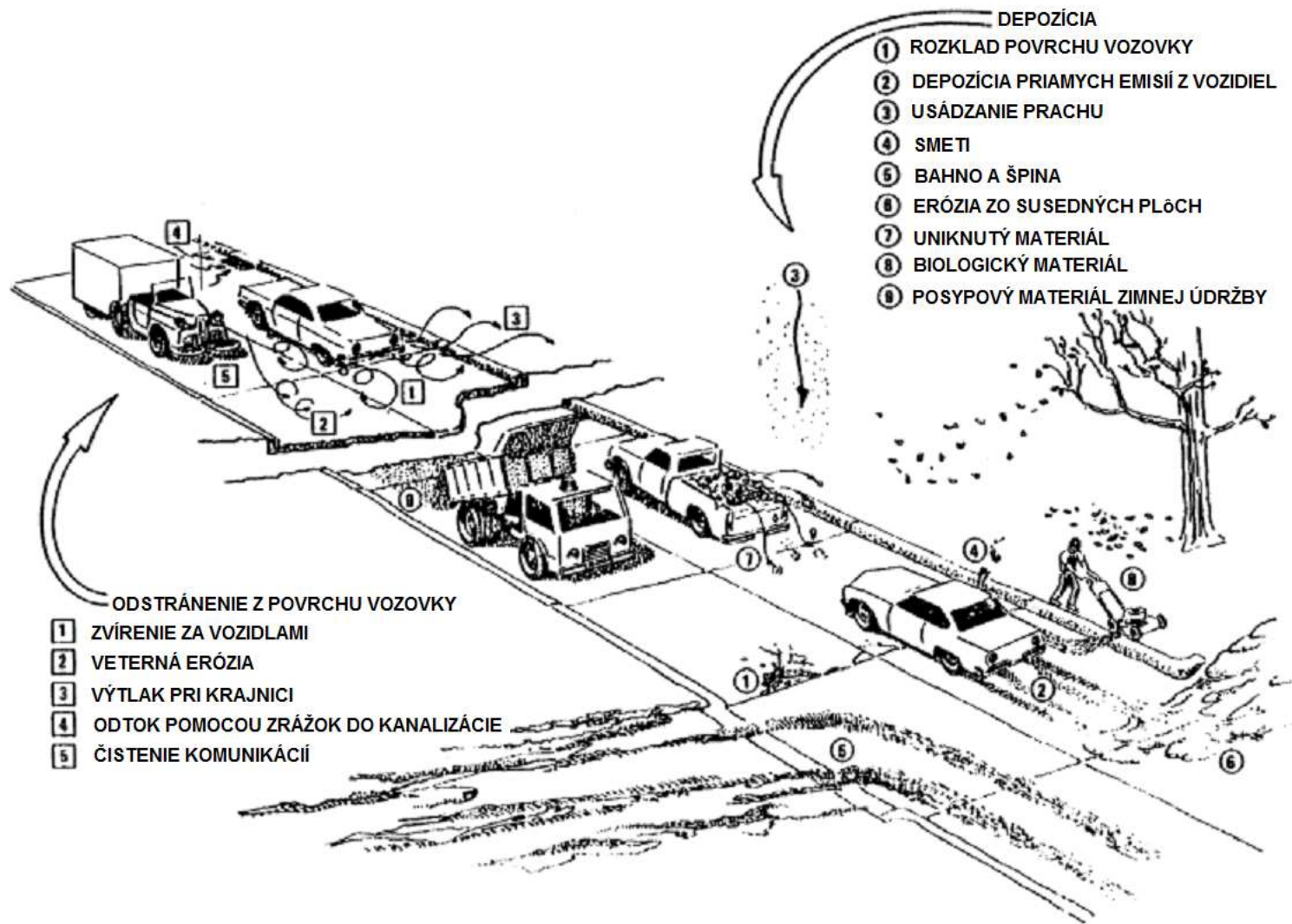
01. Október 2019, Žilina, Slovakia

Emisie z automobilovej dopravy

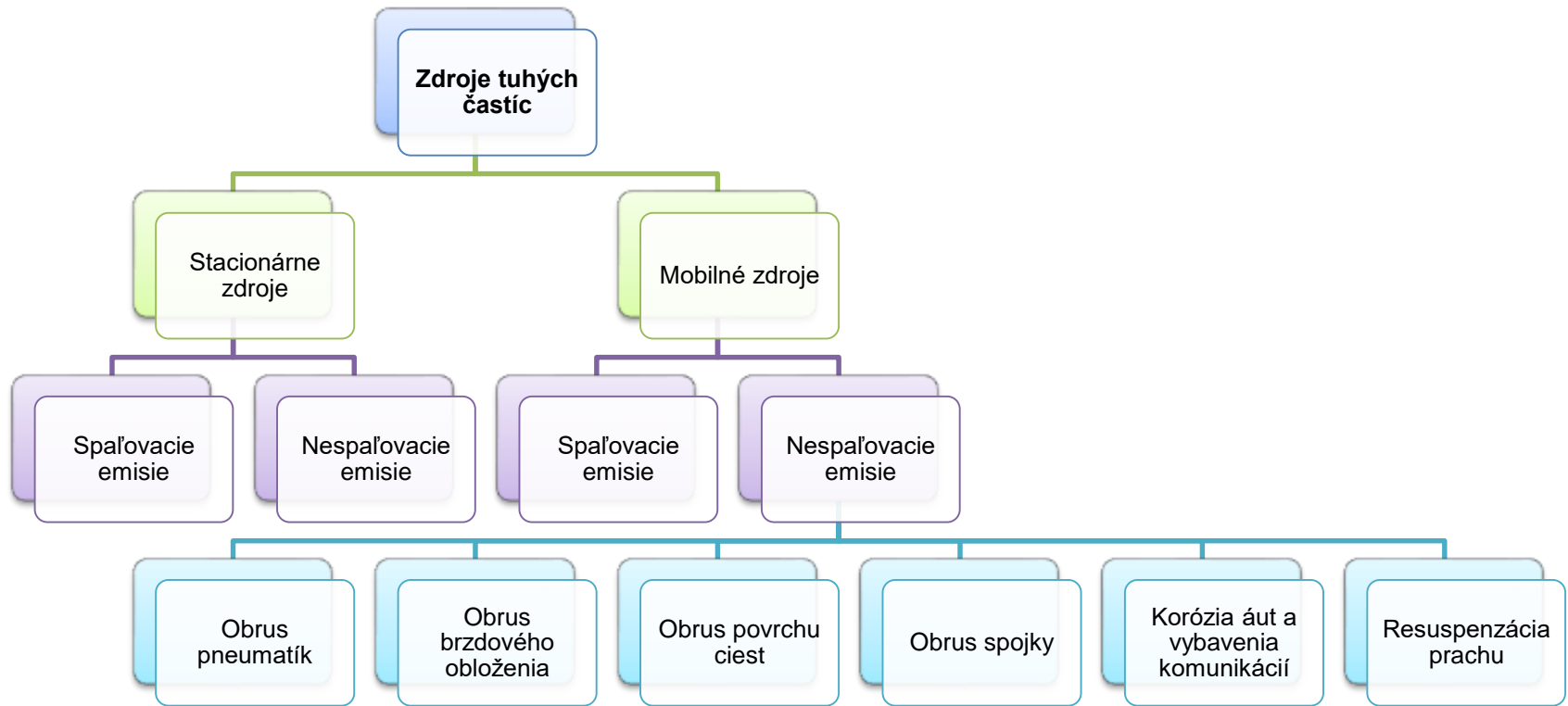


(1) Hnací mechanizmus motorového vozidla je skupina súčastí, ktoré vytvárajú silu na pohon kolies. Patrí medzi ne prevodovka, osi a kolesá.
HC - uhľovodík; POZ - prchavé organické zlúčeniny; TČ - tuhé častice; CO - oxid uhoľnatý; CO₂ - oxid uhličitý; NO_x - oxidy dusíka;

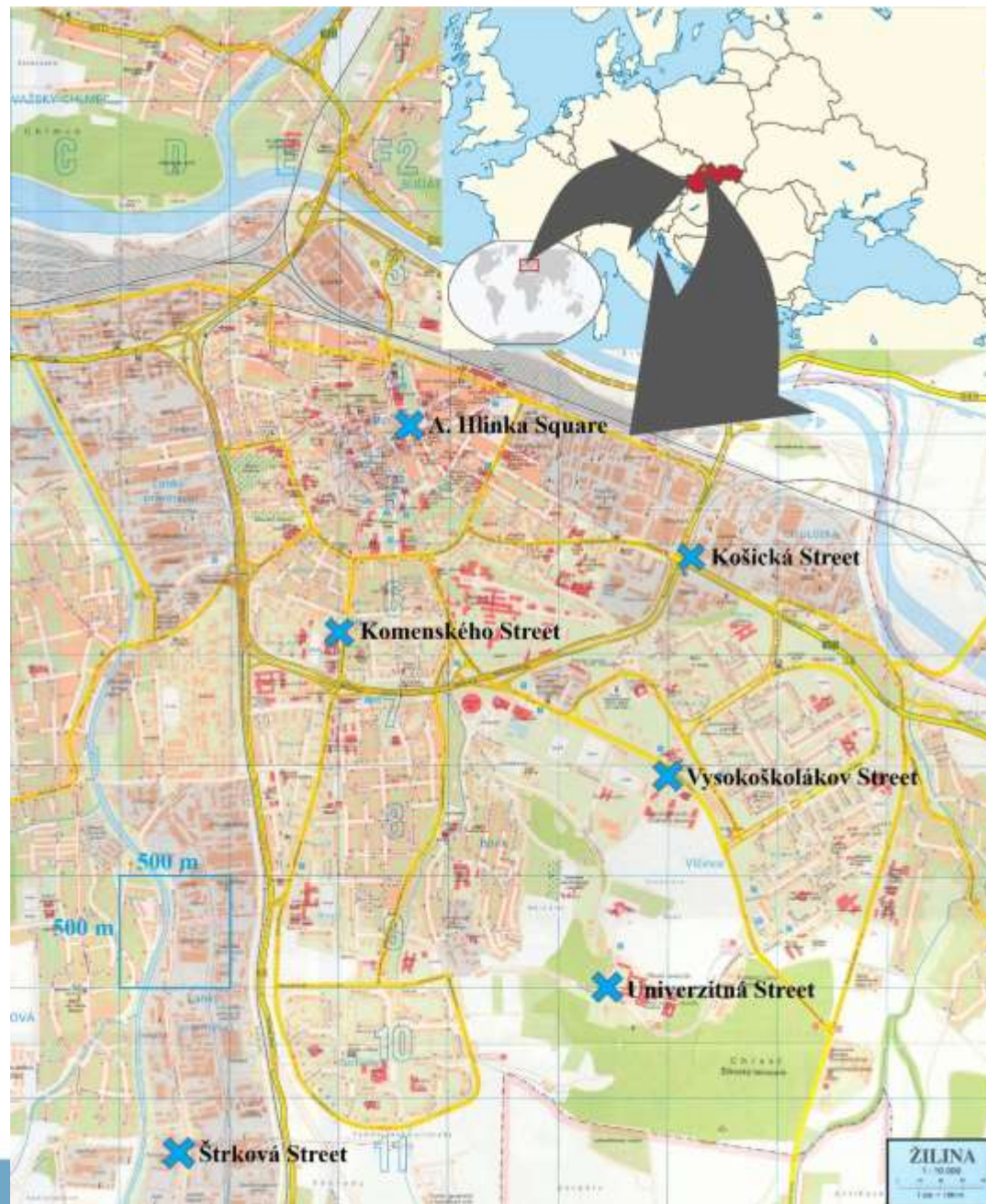
Resuspensia cestného prachu



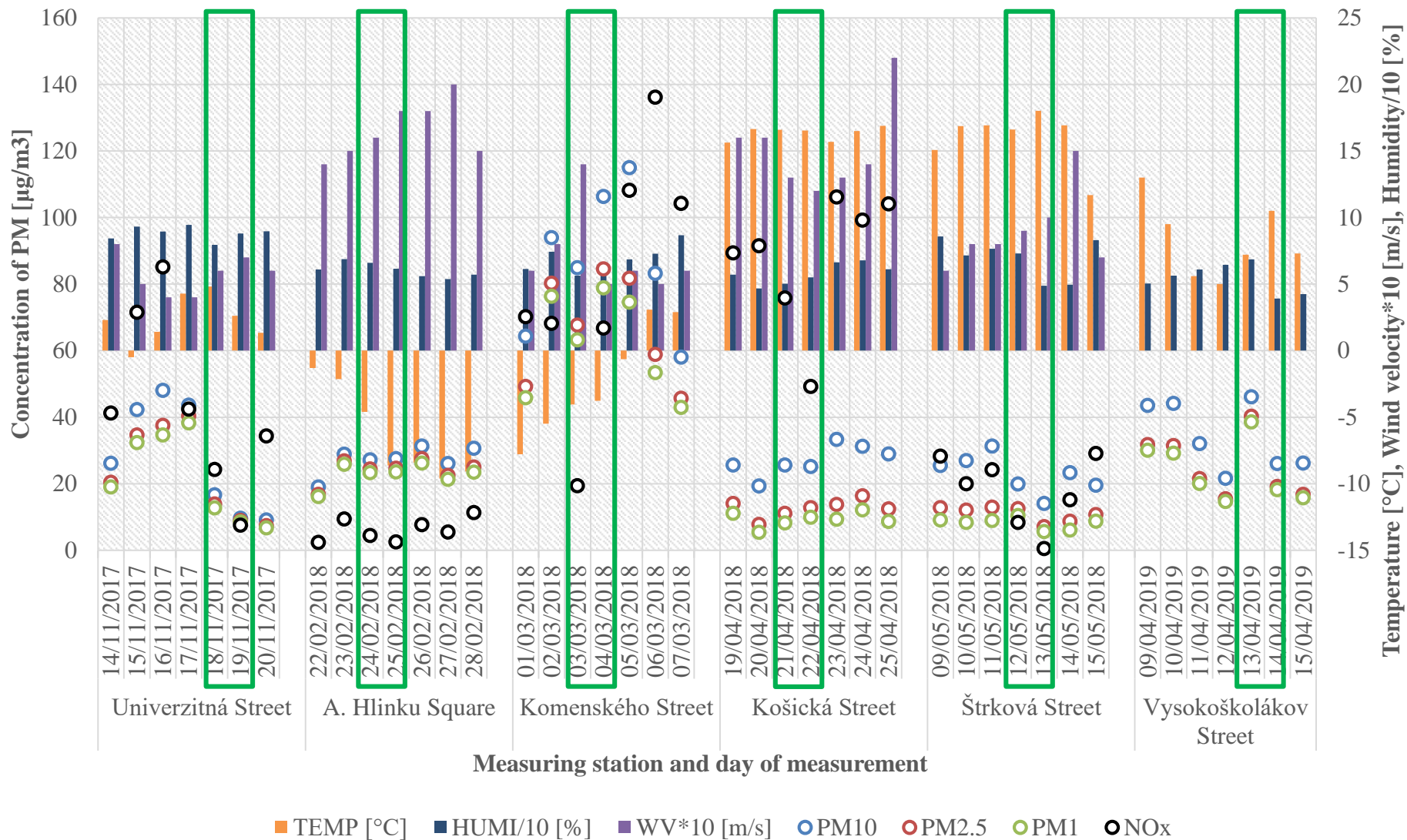
Zdroje tuhých častíc



Meranie kvality ovzdušia v sídelných útvároch

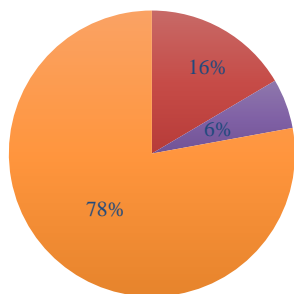


Koncentrácie polutantov vs. meteorologické parametre



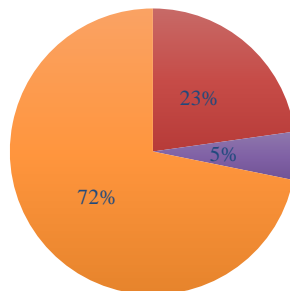
Distribúcia tuhých častíc

Univerzitná Street



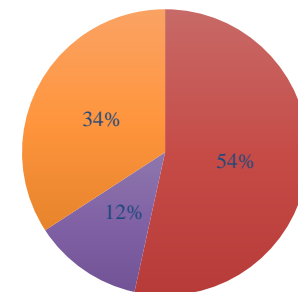
■ PM2.5-10 ■ PM1-2.5 ■ PM1

Komenského Street



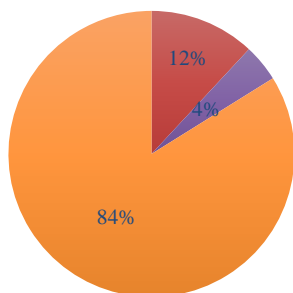
■ PM2.5-10 ■ PM1-2.5 ■ PM1

Košická Street



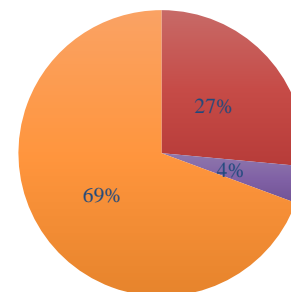
■ PM2.5-10 ■ PM1-2.5 ■ PM1

A. Hlinku Square



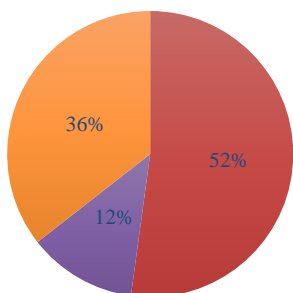
■ PM2.5-10 ■ PM1-2.5 ■ PM1

Vysokoškolský Street



■ PM2.5-10 ■ PM1-2.5 ■ PM1

Štrková Street

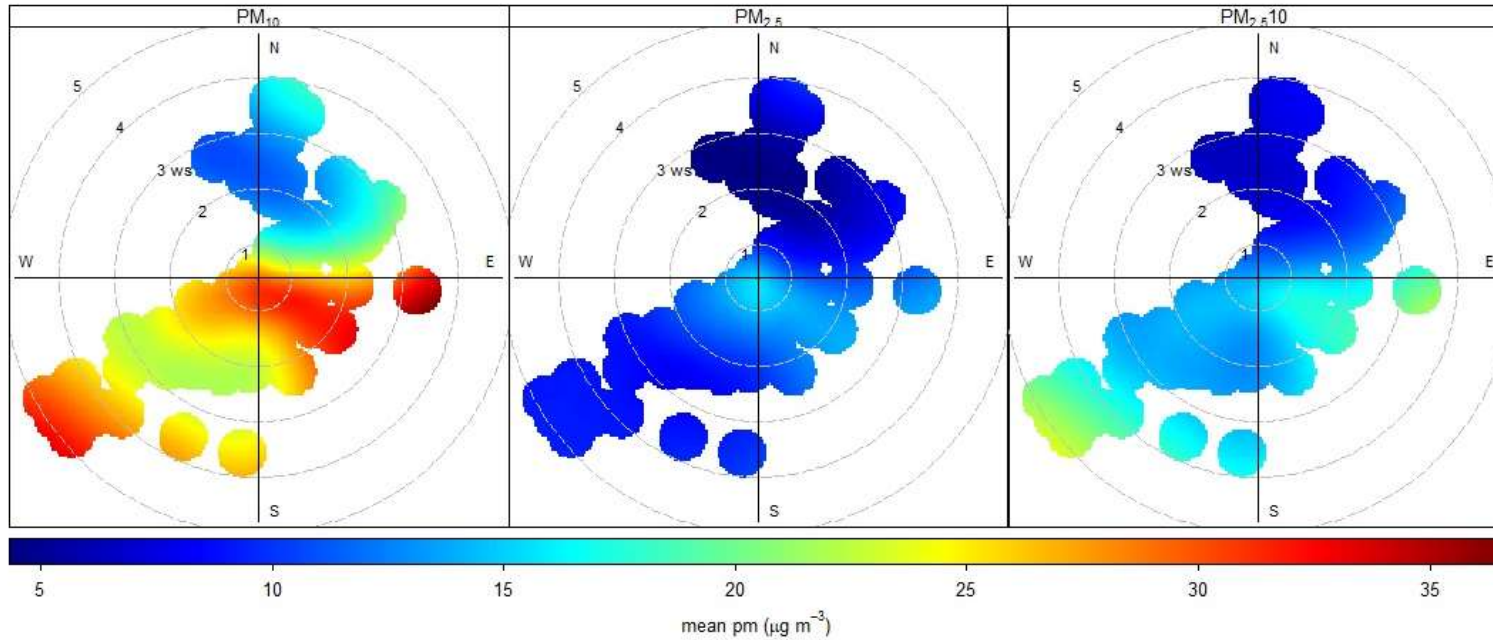


■ PM2.5-10 ■ PM1-2.5 ■ PM1

Measuring station	Average value and standard deviation of PM concentrations [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]					
	PM _{2.5-10}	Std. Dev. PM _{2.5-10}	PM _{1-2.5}	Std. Dev. PM _{1-2.5}	PM ₁	Std. Dev. PM ₁
Univerzitná Street	4.6	3.3	1.6	0.8	21.7	12.2
A. Hlinku Square	3.2	1.1	1.1	0.3	22.8	3.1
Komenského Street	19.7	6.8	4.7	1.4	62.1	13.9
Košická Street	14.4	2.7	3.3	0.7	9.2	2.0
Štrková Street	11.9	4.0	2.8	0.9	8.1	1.6
Vysokoškolský Street	9.1	2.6	1.4	0.5	23.7	8.3

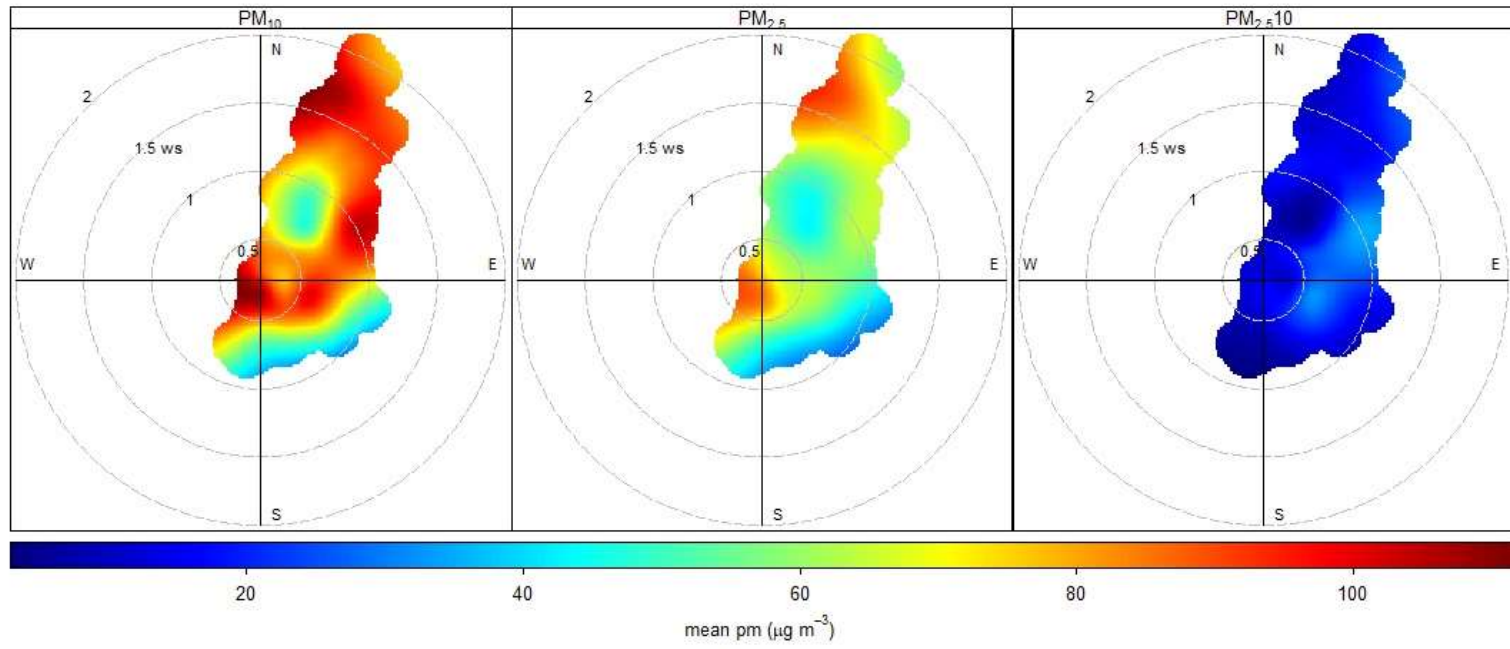


Využitie softvéru „R“ + „OpenAir“



Polárny graf –
Košická ulica

Polárny graf –
Komenského
ulica



Využitie chemického zloženia tuhých častíc

PM_{2.5-10}

Table 1. Average concentration of elements in the particulate matter (PM) fraction (PM_{2.5} and PM_{2.5-10}) at different measuring stations, with more than 60% in the PM_{2.5-10}.

MS *	PM	Average Concentration ± Standard Deviation [ng/m ³] of the Element in the PM Fraction							
		Mg	Al	Si	Ca	Cr	Cu	Fe	Ba
uvp	PM _{2.5}	12.4	10.2	6.1	50.1	4.2 × 10 ⁻¹	4.4	87.1	9.1 × 10 ⁻¹
		±8.5	±9.1	±10.0	±35.7	±2.0 × 10 ⁻¹	±2.5	±23.4	±5.9 × 10 ⁻¹
	PM _{2.5-10}	128.4	131.1	242.0	701.9	12.8 × 10 ⁻¹	9.1	353.6	54.9 × 10 ⁻¹
		±121.5	±131.9	±196.8	±688.3	±8.2 × 10 ⁻¹	±7.5	±327.0	±60.5 × 10 ⁻¹
hlin	PM _{2.5}	15.0	25.7	16.8	58.4	7.8 × 10 ⁻¹	2.2	50.9	LQ*
		±7.8	±13.0	±18.4	±35.8	±7.6 × 10 ⁻¹	±1.3	±23.2	LQ*
	PM _{2.5-10}	47.6	64.7	93.1	337.3	7.4 × 10 ⁻⁴	0.2	59.0	7.2 × 10 ⁻¹
		±13.4	±28.3	±40.3	±158.8	±18.2 × 10 ⁻⁴	±0.5	±39.0	±5.0 × 10 ⁻¹
zsk	PM _{2.5}	114.0	99.2	122.1	1137.7	10.4 × 10 ⁻¹	7.2	247.1	36.8 × 10 ⁻¹
		±87.7	±69.9	±148.4	±1587.6	±6.9 × 10 ⁻¹	±4.2	±171.4	±27.4 × 10 ⁻¹
	PM _{2.5-10}	203.9	167.8	234.5	1479.0	13.5 × 10 ⁻¹	15.3	517.0	110.3 × 10 ⁻¹
		±130.4	±76.8	±167.2	±864.1	±6.0 × 10 ⁻¹	±7.2	±136.8	±39.2 × 10 ⁻¹
tep	PM _{2.5}	88.0	141.6	274.2	283.8	14.2 × 10 ⁻¹	9.4	336.6	65.2 × 10 ⁻¹
		±42.4	±97.4	±190.5	±162.9	±5.8 × 10 ⁻¹	±2.8	±141.8	±19.8 × 10 ⁻¹
	PM _{2.5-10}	299.0	392.0	607.3	1390.4	55.4 × 10 ⁻¹	36.0	1324.6	252.7 × 10 ⁻¹
		±98.3	±142.9	±182.8	±390.9	±20.5 × 10 ⁻¹	±10.2	±395.8	±77.8 × 10 ⁻¹
strk	PM _{2.5}	70.4	92.6	204.0	315.9	9.5 × 10 ⁻¹	2.8	232.2	36.8 × 10 ⁻¹
		±34.0	±45.2	±97.0	±219.5	±6.8 × 10 ⁻¹	±1.4	±150.4	±13.7 × 10 ⁻¹
	PM _{2.5-10}	158.0	211.9	375.8	758.1	12.0 × 10 ⁻¹	4.2	456.0	39.1 × 10 ⁻¹
		±93.6	±118.3	±210.1	±406.4	±7.4 × 10 ⁻¹	±2.5	±278.1	±32.5 × 10 ⁻¹
vys	PM _{2.5}	16.0	25.9	10.6	57.0	2.3 × 10 ⁻¹	1.6	66.2	8.1 × 10 ⁻¹
		±4.6	±9.1	±10.9	±31.3	±0.9 × 10 ⁻¹	±0.5	±23.2	±2.6 × 10 ⁻¹
	PM _{2.5-10}	79.2	121.8	92.0	566.5	4.4 × 10 ⁻¹	3.3	196.4	33.7 × 10 ⁻¹
		±29.2	±46.6	±85.3	±195.3	±3.3 × 10 ⁻¹	±1.0	±64.2	±9.2 × 10 ⁻¹

* MS—monitoring station, LQ—below detection limit.

PM_{2.5}

Table 2. Average concentration of elements in the particulate matter (PM) fraction (PM_{2.5} and PM_{2.5-10}) at different measuring stations, with more than 60% in the PM_{2.5}.

MS *	PM	Average Concentration ± Standard Deviation [ng/m ³] of the Element in the PM Fraction						
		K	S	Cd	Sb	Pb	Ni	Zn
uvp	PM _{2.5}	216.7	546.3	29.4 × 10 ⁻²	15.2 × 10 ⁻¹	65.1 × 10 ⁻¹	11.8 × 10 ⁻¹	43.3
		±135.2	±374.1	±20.4 × 10 ⁻²	±10.2 × 10 ⁻¹	±33.5 × 10 ⁻¹	±1.0 × 10 ⁻¹	±29.1
	PM _{2.5-10}	61.6	312.4	4.4 × 10 ⁻²	8.5 × 10 ⁻¹	9.1 × 10 ⁻¹	7.7 × 10 ⁻¹	9.1
		±58.0	±333.2	±8.5 × 10 ⁻²	±7.6 × 10 ⁻¹	±14.6 × 10 ⁻¹	±6.9 × 10 ⁻¹	±10.5
hlin	PM _{2.5}	224.8	1695.4	23.2 × 10 ⁻²	6.9 × 10 ⁻¹	80.1 × 10 ⁻¹	18.6 × 10 ⁻¹	40.7
		±28.6	±843.1	±9.9 × 10 ⁻²	±3.0 × 10 ⁻¹	±41.3 × 10 ⁻¹	±5.3 × 10 ⁻¹	±10.2
	PM _{2.5-10}	3.5	9.7	1.3 × 10 ⁻²	0.4 × 10 ⁻¹	3.4 × 10 ⁻¹	1.2 × 10 ⁻¹	8.6
		±5.9	±23.8	±3.1 × 10 ⁻²	±1.1 × 10 ⁻¹	±8.4 × 10 ⁻¹	±1.9 × 10 ⁻¹	±19.5
zsk	PM _{2.5}	564.2	2442.8	63.5 × 10 ⁻²	22.0 × 10 ⁻¹	185.6 × 10 ⁻¹	18.3 × 10 ⁻¹	89.3
		±186.9	±1234.5	±27.8 × 10 ⁻²	±12.9 × 10 ⁻¹	±89.4 × 10 ⁻¹	±4.5 × 10 ⁻¹	±31.3
	PM _{2.5-10}	18.5	265.2	6.7 × 10 ⁻²	8.7 × 10 ⁻¹	12.5 × 10 ⁻¹	3.1 × 10 ⁻¹	7.6
		±28.4	±263.1	±8.1 × 10 ⁻²	±3.4 × 10 ⁻¹	±14.2 × 10 ⁻¹	±4.0 × 10 ⁻¹	±6.6
tep	PM _{2.5}	107.3	495.9	18.8 × 10 ⁻²	26.6 × 10 ⁻¹	55.8 × 10 ⁻¹	13.2 × 10 ⁻¹	29.2
		±29.8	±425.4	±6.3 × 10 ⁻²	±8.5 × 10 ⁻¹	±15.4 × 10 ⁻¹	±2.0 × 10 ⁻¹	±6.2
	PM _{2.5-10}	123.0	224.5	3.4 × 10 ⁻²	78.3 × 10 ⁻¹	21.6 × 10 ⁻¹	11.3 × 10 ⁻¹	21.5
		±52.5	±143.4	±2.1 × 10 ⁻²	±29.6 × 10 ⁻¹	±9.4 × 10 ⁻¹	±6.8 × 10 ⁻¹	±6.1
strk	PM _{2.5}	98.8	457.2	14.6 × 10 ⁻²	11.6 × 10 ⁻¹	57.7 × 10 ⁻¹	15.8 × 10 ⁻¹	22.2
		±24.0	±181.2	±4.5 × 10 ⁻²	±7.0 × 10 ⁻¹	±22.5 × 10 ⁻¹	±4.4 × 10 ⁻¹	±6.9
	PM _{2.5-10}	110.3	164.9	2.9 × 10 ⁻²	6.1 × 10 ⁻¹	22.7 × 10 ⁻¹	7.2 × 10 ⁻¹	13.6
		±55.6	±107.0	±2.2 × 10 ⁻²	±3.9 × 10 ⁻¹	±27.3 × 10 ⁻¹	±5.8 × 10 ⁻¹	±13.7
vys	PM _{2.5}	81.5	880.1	19.1 × 10 ⁻²	4.0 × 10 ⁻¹	31.0 × 10 ⁻¹	0.9 × 10 ⁻¹	12.7
		±26.7	±462.3	±7.8 × 10 ⁻²	±1.6 × 10 ⁻¹	±18.6 × 10 ⁻¹	±1.3 × 10 ⁻¹	±5.2
	PM _{2.5-10}	34.2	77.1	0.4 × 10 ⁻²	1.8 × 10 ⁻¹	1.1 × 10 ⁻¹	0.9 × 10 ⁻¹	2.0
		±29.4	±71.4	±0.6 × 10 ⁻²	±1.0 × 10 ⁻¹	±0.9 × 10 ⁻¹	±1.1 × 10 ⁻¹	±1.6

* MS—monitoring station.



Pôvod prvkov obsiahnutých v tuhých časticiach

Zdroj		Vybrané prvky
Cestná doprava	Obrus povrchu vozovky (kamenivo+asfaltové spojivá)	Al, Si, Ca, Mg, C, Na, K, V, Ni, S
	Obrus súčastí automobilov	Cu, Sn, Cr, Pb, Cd, As, Sb, Fe, Al
	Obrus súčastí bŕzd	Cu, Sb, Ba, Cr, Fe, Ni, Pb, Zn
	Obrus pneumatík	Zn, Cd, Pb, Cu, Ni, Fe
	Spaľovanie pohonných hmôt	Mo, V
	Katalyzátor	Pt, Pa, Rh (Platinum metals)
Spaľovanie uhlia a odpadu		Zn, Sb, Cu, Cd, Hg, Se, As, Cr, Co, Al, S
Priemysel		Sb, Ag, V, Ni, As, In, Cu, Mn, Ce, Co, Cr, Pb
Spaľovanie biomasy		K
Pôdny a mestský prach		Ti, Al, Fe, Mn, Cr, Cu, Th



Využitie viacrozmerých štatistických metód

Analýza hlavných komponentov - PCA

Faktorová analýza - FA

$$y_1 = \sum_{j=1}^m v_{1j} x_j,$$

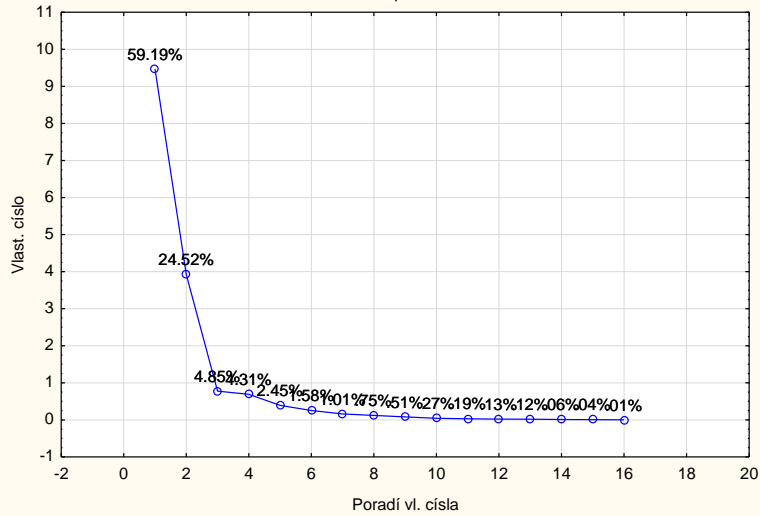
$$X_j = \sum_{k=1}^m \lambda_{jk} F_k + E_j, j,$$

Kombináciou týchto dvoch metód sa dosiahne minimálny počet latentných premenných s maximom pôvodných informácií (PCA) a potom použije minimálny počet latentných premenných (faktory) pre FA a vkladá do nich pôvodné znaky (kovy).

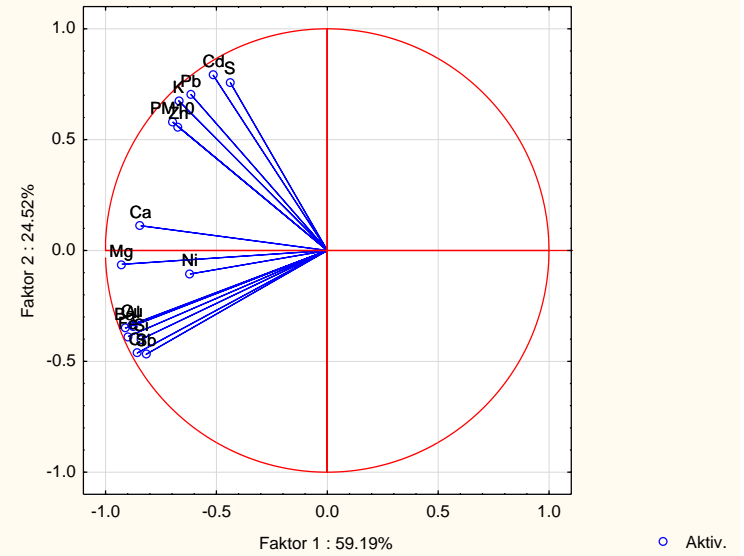


Využitie softvéru „Statistica“ - PCA

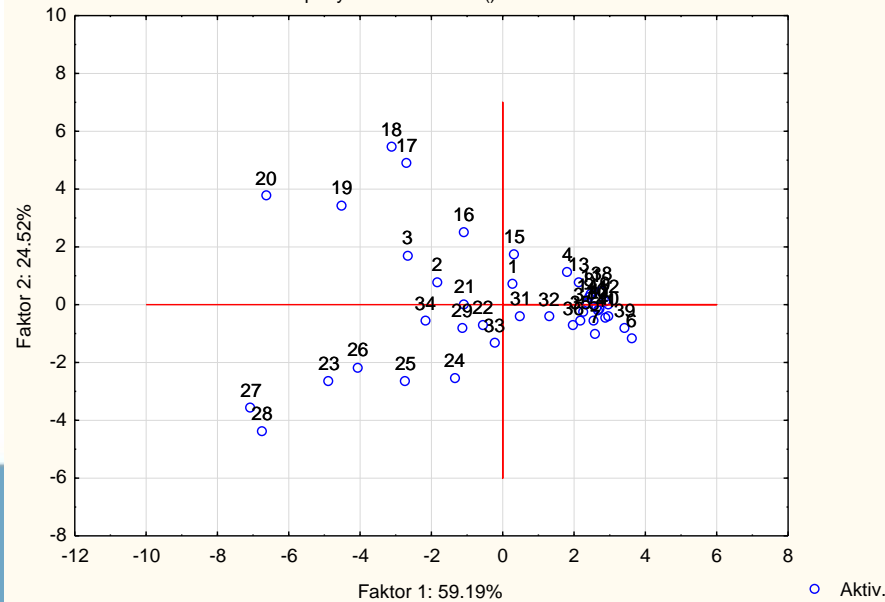
Vlastní čísla korelační matice
Pouze aktiv. proměnné



Projekce proměnných do faktorové roviny (1 x 2)

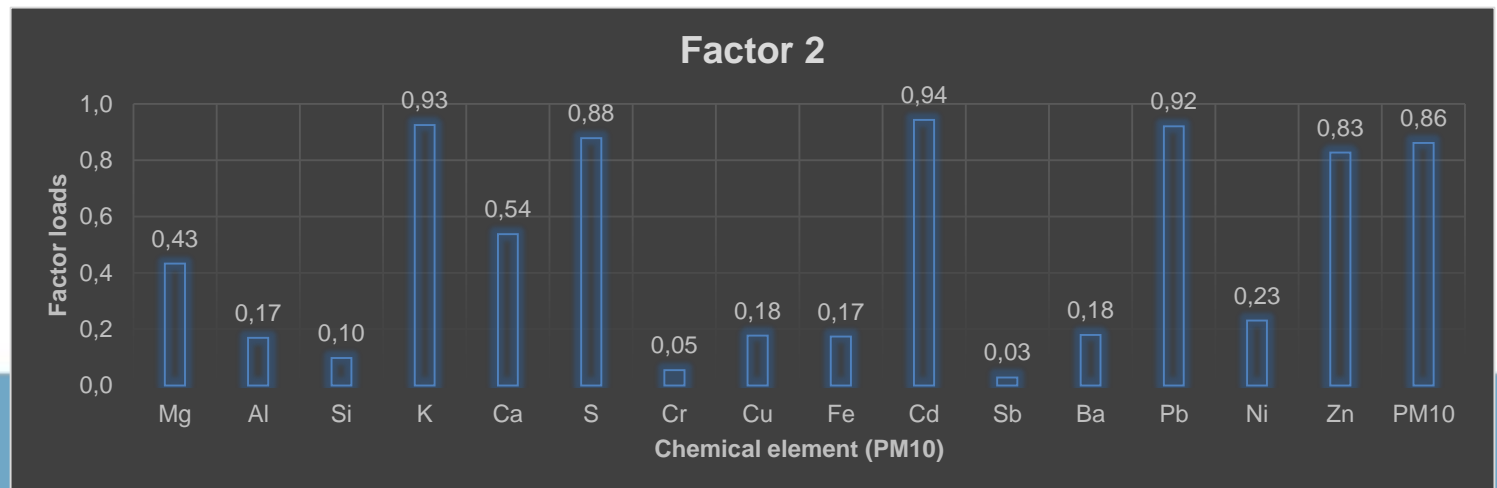
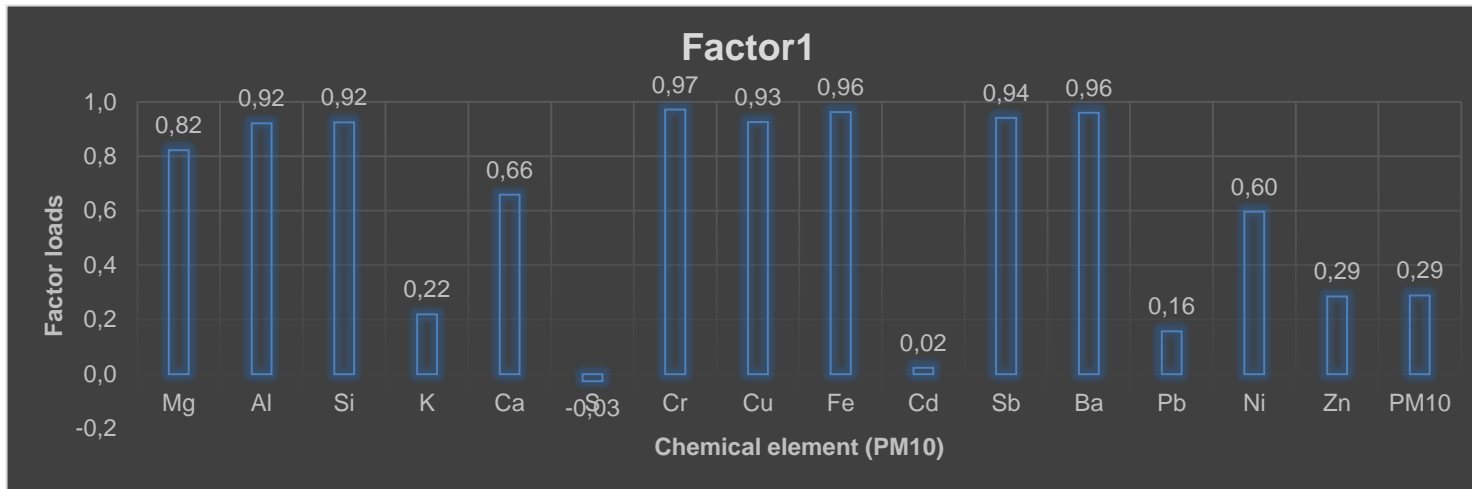


Projekce případu do faktorové roviny (1 x 2)
Případy se součtem $\cos^2 \geq 0.00$



Využitie softvéru „Statistica“ - FA

Faktor	vl. Číslo	% celk. Rozptylu	Kumulati v. Vlast. Číslo	Kumulati v. %
1	9.491232	59.32020	9.49123	59.32020
2	3.898265	24.36415	13.38950	83.68435



Identifikácia zdrojov tuhých častíc

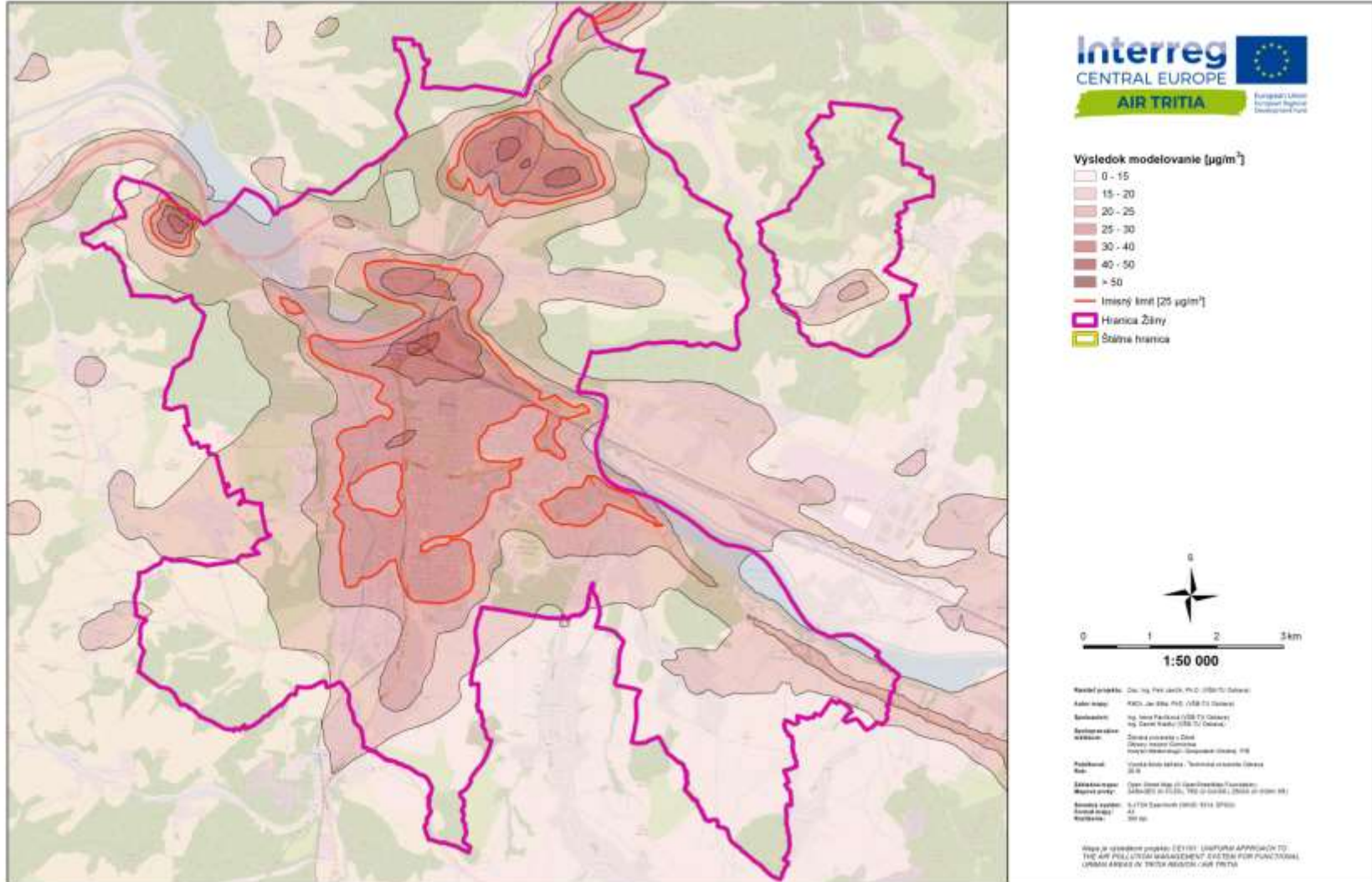
MS	Factor	% of the total variance	Significant chemical elements for the factor	Source of PM ₁₀
uvp	F1	71.8	Mg, Al, Si, K, Ca, Ba, Zn	Road dust resuspension
	F2	12.4	S	Combustion – local, central heating
	F3	9.2	Cr, Cu, Fe, Cd,	Traffic related abrasion
hlin	F1	50.8	S, Cd, Sb, Pb	Combustion – local, central heating
	F2	21.9	Al, Si, K, Ba	Traffic, pavement related abrasion
	F3	14	Mg, Ca, Zn	Road dust resuspension
	F4	7.9	Cu, Fe, Ni	Industry
zsk	F1	60.3	Al, Si, Cr, Cu, Fe, Sb, Ba	Traffic related abrasion
	F2	25.1	K, S, Cd, Pb	Combustion – local, central heating
	F3	9.9	Mg, Ca, Zn	Road dust resuspension, exhaust processes
tep	F1	66	Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Cu, Fe, Sb, Ba	Road dust resuspension, traffic related abrasion
	F2	16.8	Cd, Pb	Industry
	F3	9.3	S	Combustion – central heating
strk	F1	66.2	Cr, Cu, Fe, Sb, Pb, Ni, Zn	Industry, traffic related abrasion
	F2	15	Mg, Al, Si, K, Ca, Ba	Road dust resuspension
	F3	7.8	S	Combustion
vys	F1	52	Al, K, Cr, Fe, Ni,	Traffic related abrasion
	F2	28	Cd, Sb, Pb, Zn	Combustion - local
	F3	12.8	Mg, Ca, Cu, Ba, S	Traffic related emissions
all	F1	59.3	Mg, Al, Si, Cr, Cu, Fe, Sb, Ba	Traffic related emissions
	F2	24.4	K, S, Cd, Pb, Zn	Combustion – local, central



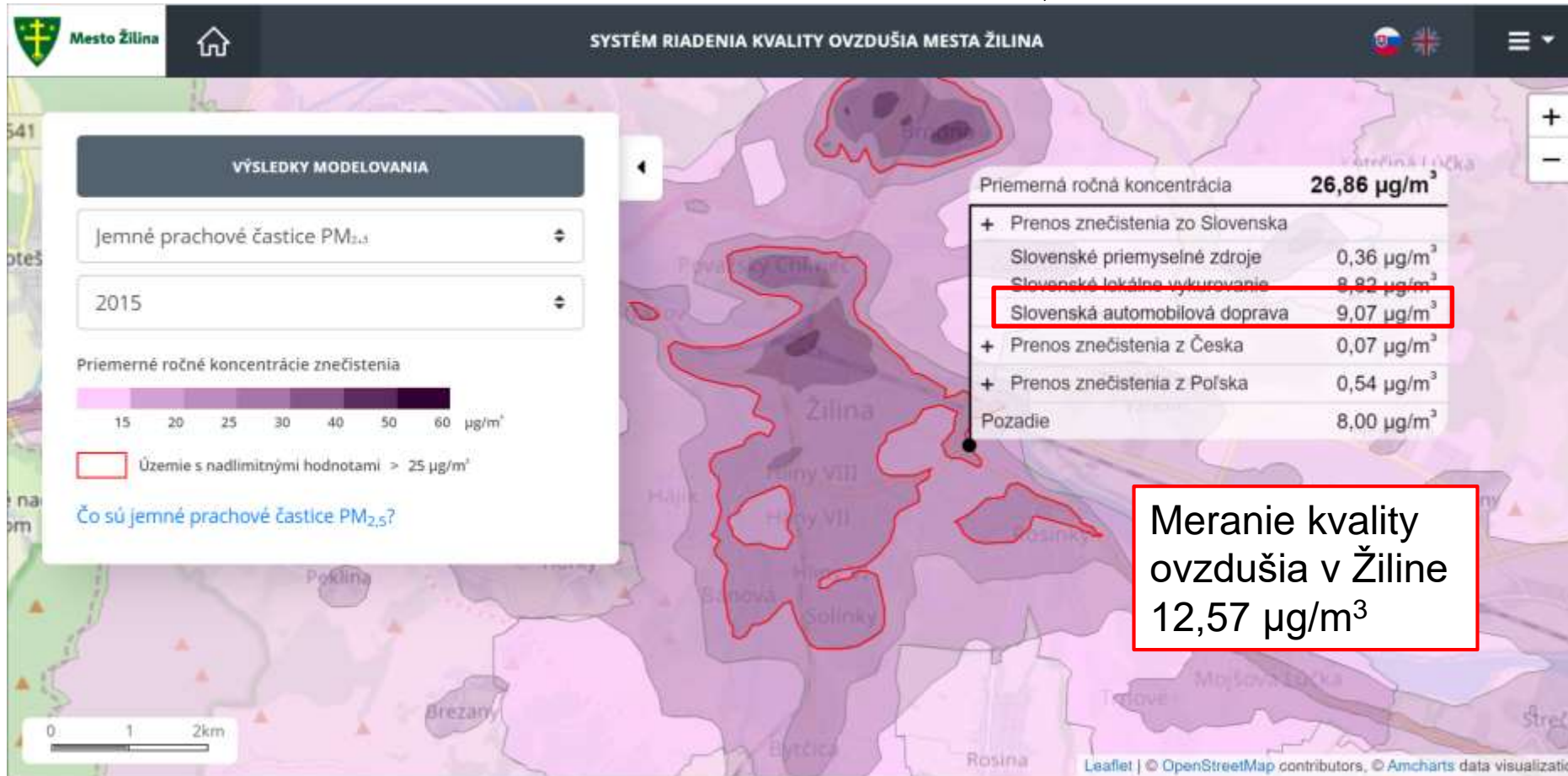
Využitie modelovania znečistenia ovzdušia

PRIEMERNÁ ROČNÁ KONCENTRÁCIA PM_{2,5} V ŽILINĚ

Celkové koncentrácie, model SYMOS'97 s korekciou podľa imisného monitoringu, rok 2015



Príspevok cestnej dopravy k znečisteniu ovzdušia - PM_{2,5}



Záverom

- ✓ Cestná doprava ako zdroj znečisťujúcich látok ovzdušie:
 - ✓ Tuhé častice: PM_{10} , $PM_{2,5}$,
 - ✓ Oxidy dusíka: NO_x , NO_2 , NO ,
- ✓ Prekračovanie limitných hodnôt v mestskom prostredí – tuhé častice PM_{10} , $PM_{2,5}$,
- ✓ Škodlivosť tuhých častíc predurčená predovšetkým ich chemickým zložením a veľkosťou,
- ✓ Znalosť stavu znečistenia ovzdušia – východiskový bod k definovaniu pôvodu znečistenia ovzdušia a nastavenia nápravných opatrení,
- ✓ Cestná doprava ako celoročný zdroj znečistenia ovzdušia + sezónne zdroje (lokálne vykurovanie) = zlá kvalita ovzdušia.





Thank You for Your Attention

