



OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti
Evropský fond pro regionální rozvoj

Pro vodu,
vzduch a přírodu

Zdravotní ústav se sídlem v Ústí nad Labem

Oddělení hodnocení zdravotních rizik

Moskevská 15

400 01 Ústí nad Labem



Kutná Hora – Kaňk, analýza stavu venkovního ovzduší z hlediska vybraných veličin na základě měření ZÚ se sídlem v Ústí n. L.

autor: Bc. David Šubrt

Ústí nad Labem, květen 2018

Obsah

1	Poznámka k metodice vizualizace prostorových a geostatistických dat.....	1
2	Prašný spad a obsažené kovy.....	1
2.1	Lokality monitoringu prašného spadu	1
2.2	Koncentrace vybraných kovů v prašném spadu	2
2.3	Vzájemný vztah obsahů kovů v prašném spadu	13
3	Aerosolové částice a obsahy navázaných kovů	16
3.1	Celková povětrnostní situace	16
3.2	Aerosolové částice frakce PM ₁₀	16
3.3	Koncentrace kovových prvků vázaných na aerosolové částice frakce PM ₁₀	18
3.4	Situace oxidu siřičitého (SO ₂)	19
3.5	Souvislost obsahu SO ₂ , aerosol. částic frakce PM ₁₀ a kovových prvků na ně vázaných v ovzduší	22
3.6	Situace oxidů dusíku a oxidu dusičitého a troposferického ozónu (NO _x , NO ₂ , O ₃).....	24

1 Poznámka k metodice vizualizace prostorových a geostatistických dat

Veškeré vizualizace v následujícím textu jsou zpracovány v GIS prostřednictvím software QGIS (volně šiřitelného pod licencí GNU GPL). Jako podkladová mapa byl použit výřez z mapového portálu www.mapy.cz. Tento portál umožňuje při splnění určitých podmínek použití svých mapových podkladů ke komerční činnosti.

2 Prašný spad a obsažené kovy

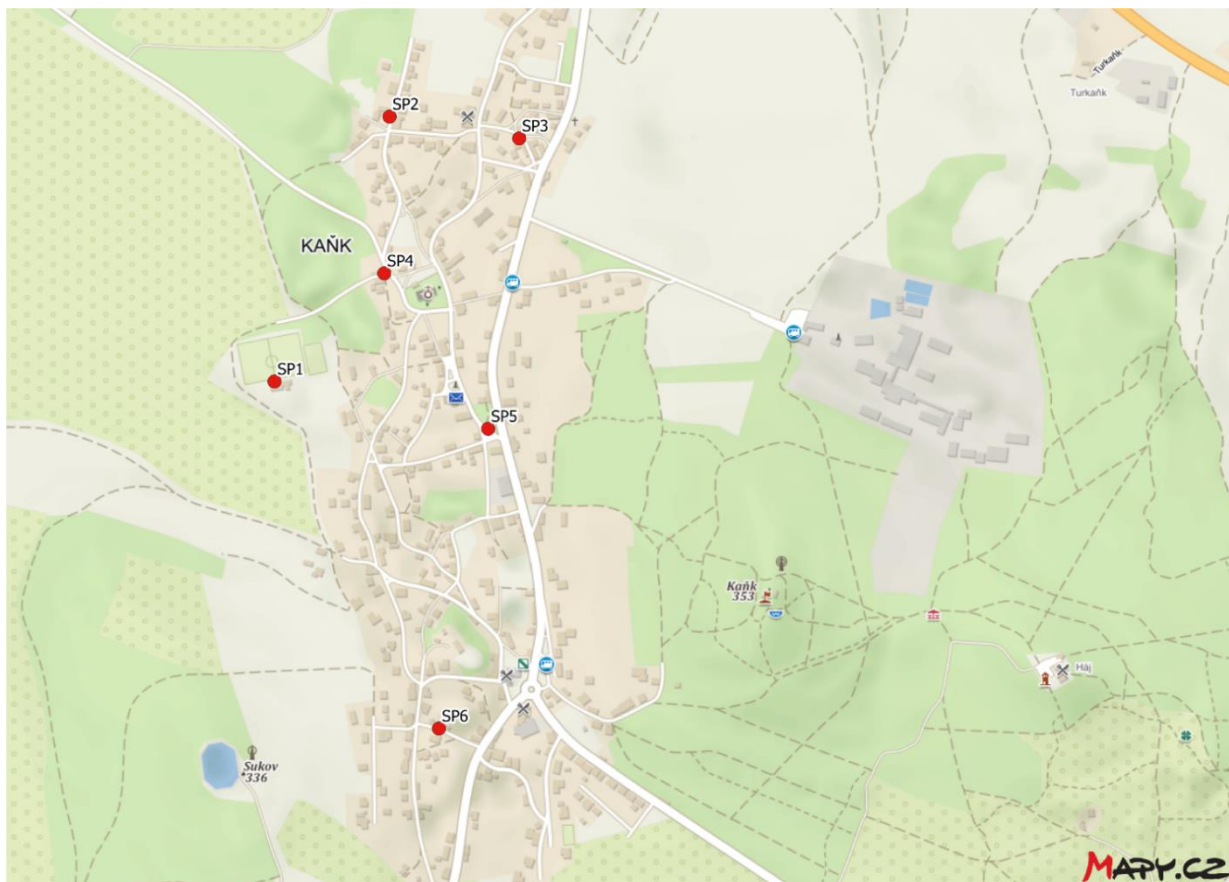
Prašný spad (sedimentovaná prašnost) reprezentuje znečištění zemského povrchu sedimentací hrubé frakce prachových částic. Jejich původ je především v povrchové prašnosti způsobené provozem na komunikacích, stavební činností a větrnou erozí neudržovaných a zanedbaných ploch zbavených vegetačního krytu (sekundární prašnost), ale také v technologických emisích ze spalovacích procesů všude tam, kde dochází k úniku tuhých částic a není v provozu účinná odlučovací technika (primární prašnost).

Na území Kaňku bylo vybráno celkem 6 lokalit (ozn.: SP1,..., SP6), na kterých byl prašný spad monitorován. Depozice je vždy vyjádřena za období 30 dnů. Monitoring sedimentované prašnosti probíhal v několika obdobích (kampaních), a sice:

1. 4.10. – 14.11.2017
2. 14.11. – 14.12.2017
3. 14.12.2017 – 16.1.2018
4. 16.1. – 16.2.2018
5. 16.2. – 19.3.2018
6. 13.4. – 14.5.2018

2.1 Lokality monitoringu prašného spadu

označení lokality	GPS, zem. délka	GPS, zem. šířka
SP1	15,2671942	49,9752411
SP2	15,2698611	49,9791883
SP3	15,2728644	49,9788633
SP4	15,2697372	49,9768522
SP5	15,2721447	49,9745364
SP6	15,2710056	49,9700692



Obr. 1. Poloha lokalit monitoringu prašného spadu na Kaňku

2.2 Koncentrace vybraných kovů v prašném spadu

V prašném spadu za období 30 dní byly stanovovány koncentrace [$\text{mg}/\text{m}^2/30$ dní] následujících prvků: **Ag, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Te, Tl, V, Zn**

Hodnoty koncentrací byly jasně *stanovené* nebo byly *pod limitem stanovitelnosti (LOQ)*. Limit stanovitelnosti je u každého prvku odlišný. Zastoupení hodnot pod LOQ u jednotlivých analytů je uvedeno na Obr. 2.

Pro účely analýzy se v běžné praxi výsledná hodnota pod LOQ nahrazuje poloviční hodnotou toho limitu. Ovšem tento postup je statisticky akceptovatelný (tj. s přijatelnou chybou) pokud počet výsledných hodnot pod LOQ v souboru u konkrétního analytu nepřesáhne polovinu všech hodnot. Pokud to tedy bylo možné, použili jsme tento postup.

Prvky u nichž převládají hodnoty pod LOQ jsou: Be, Co, Ni, Sn. U prvků Sb, Se, Te, Tl bylo nalezeny všechny hodnoty pod LOQ. Otázkou je, zda u některých prvků nejsou zvýšené koncentrace (tj. nad LOQ) díky faktoru místa či nebyly pozorovány v rámci nějaké určité kampaně měření. Odpověď spolu s údaji o LOQ vyjmenovaných prvků se nalézá v následující tabulce. Dále tyto prvky vylučujeme z analýz.

prvek	LOQ	pozorovaná závislost
Be	0,001	hodnoty nad LOQ (11) se objevily v I. a V. a celém VI. období měření
Co	0,01	hodnoty nad LOQ (11) se objevily v I. a V. a celém VI. období měření
Ni	0,2	u niklu se objevila jedna hodnota nad LOQ a sice $0,48 \text{ mg}/\text{m}^2/30$ dní ve II. období měření a

		dále 4 hodnoty nad LOQ v VI. období měření (z toho nejvyšší 0,6 mg/m ² /30 dní)
Sb	0,02	hodnoty nad LOQ (4) se objevily pouze v VI. období měření
Se	0,02	100% hodnot pod LOQ
Sn	0,05	hodnoty nad LOQ (7) se objevily v I. a V. a VI. období měření
Te	0,02	100% hodnot pod LOQ
Tl	0,01	100% hodnot pod LOQ

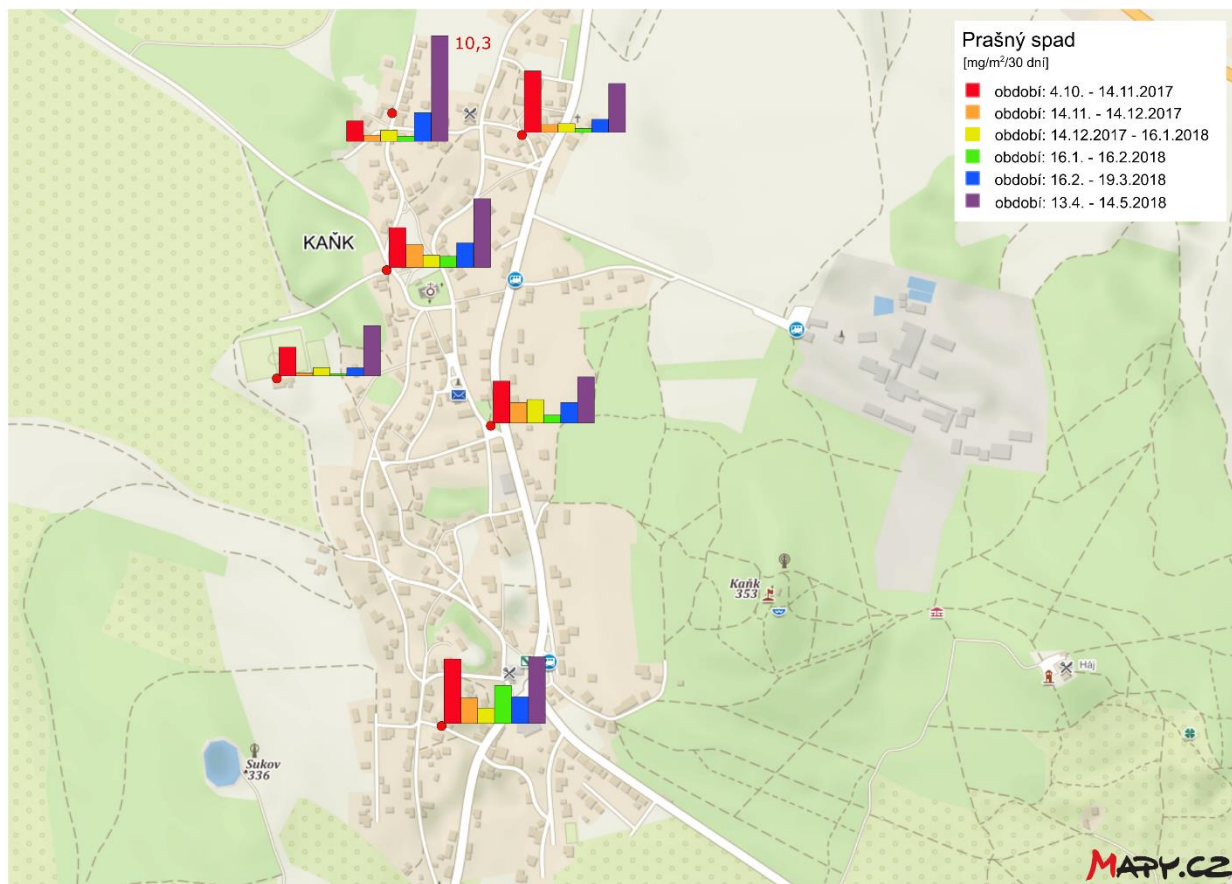
Tab. 1. Limity stanovitelnosti u prvků s převládajícím podílem hodnot pod tímto limitem a pozorované závislosti



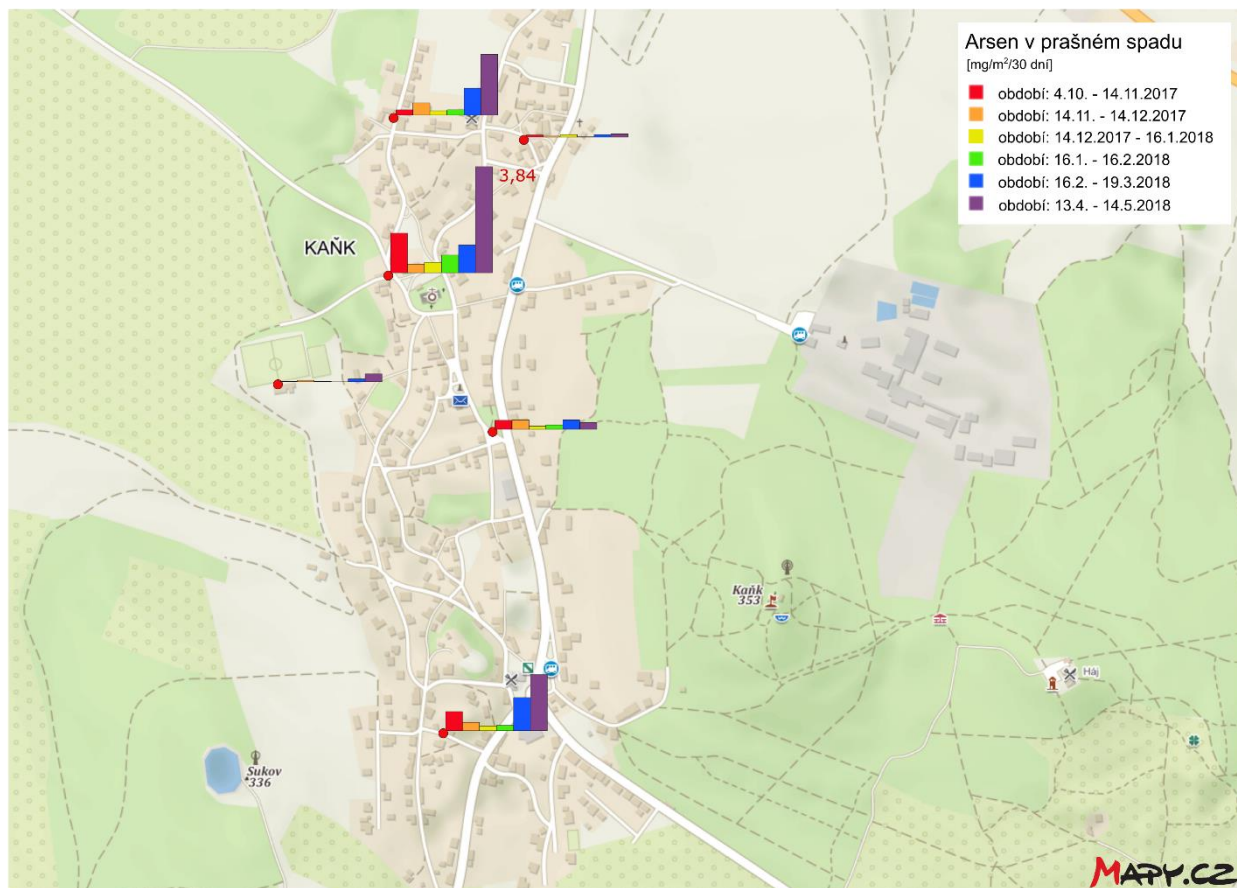
Obr. 2. Zastoupení počtu výsledných hodnot koncentrací kovů v prašném spadu pod mezí stanovitelnosti (pod LOQ)

Nejvíce **prašného spadu** v průběhu všech měřících období bylo zachyceno na lokalitě **SP6**, tzn. na **jižním** okraji Kaňku. Dalšími významnými lokalitami z hlediska vyšších hodnot prašného spadu jsou SP4 a SP5. Z hlediska zátěže kovovými prvky v sedimentované prašnosti se jeví jako více zatížené lokality **SP4 a SP6**. Podle odhadu je lokalita SP4 nejvíce zatížena stříbrem, arsenem a zřejmě mědí i olovem. Lokalita SP6 pak kadmíem, chromem, zinkem a zřejmě rovněž olovem. Baryum je nápadně vyšší na lokalitě SP1. V následujících mapách jsou vizualizovány koncentrace prašného spadu a vybraných prvků i za jednotlivá období měření. Je důležité upozornit na vysoké odlehlé hodnoty v souboru. U olova ve IV. období na lokalitě SP2 jsme zaznamenali peak o hodnotě 0,64 mg/m²/30 dní. Tento stav mohl být způsoben různými příčinami a nemusel zcela odrážet stav ovzduší. Další odlehlou hodnotou je výsledek u kadmia v VI. období na lokalitě SP2 kde tento prvek vykázal 0,02 mg/m²/30 dní. Po poradě s laboratořemi jsme obě hodnoty v souboru ponechali ale je třeba mít na zřeteli jejich nejasný původ.

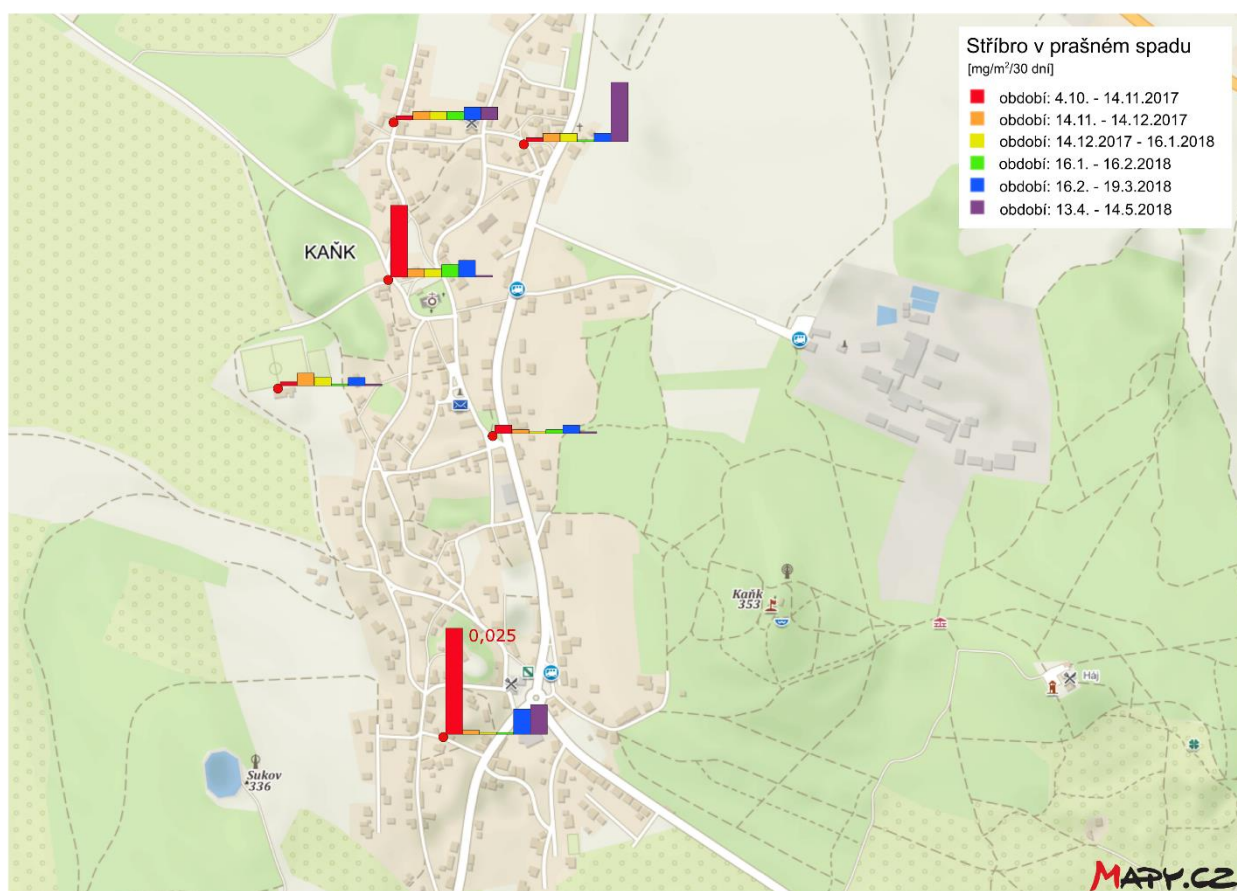
Odlehlé výsledné hodnoty jsou dobře vizualizovány v rámci grafů popisných parametrů (boxplotů) – viz níže. Důvody odlehlosti jsou víceméně nejasné a nelze spolehlivě konstatovat, že plně reflektují stav ovzduší bez nějakého úmyslného či neúmyslného zásahu. Vždy je třeba se nad těmito hodnotami zamýšlet a podrobněji konzultovat s laboratořemi či s lidmi, kteří provádí měření přímo v terénu.



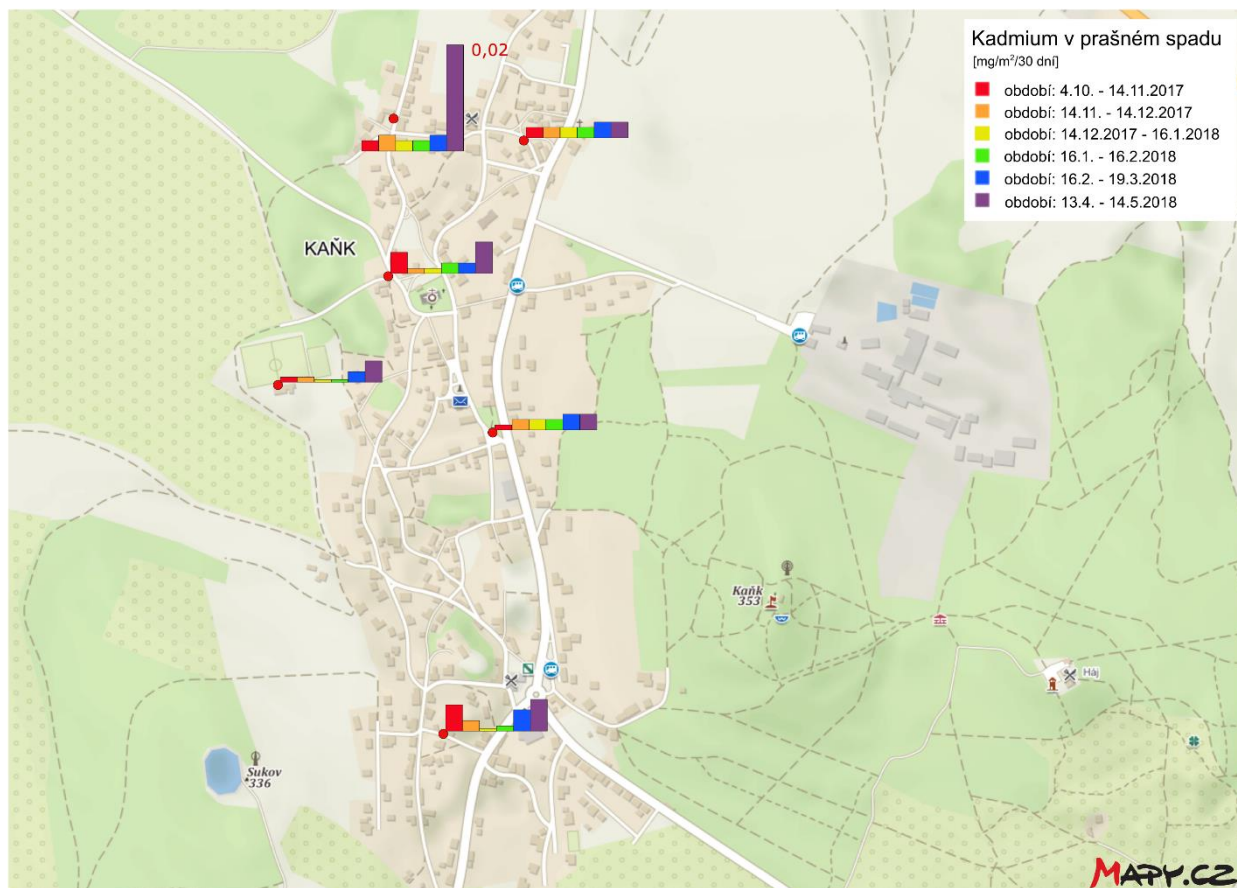
Obr. 3. Prašný spad - hodnoty za jednotlivá období



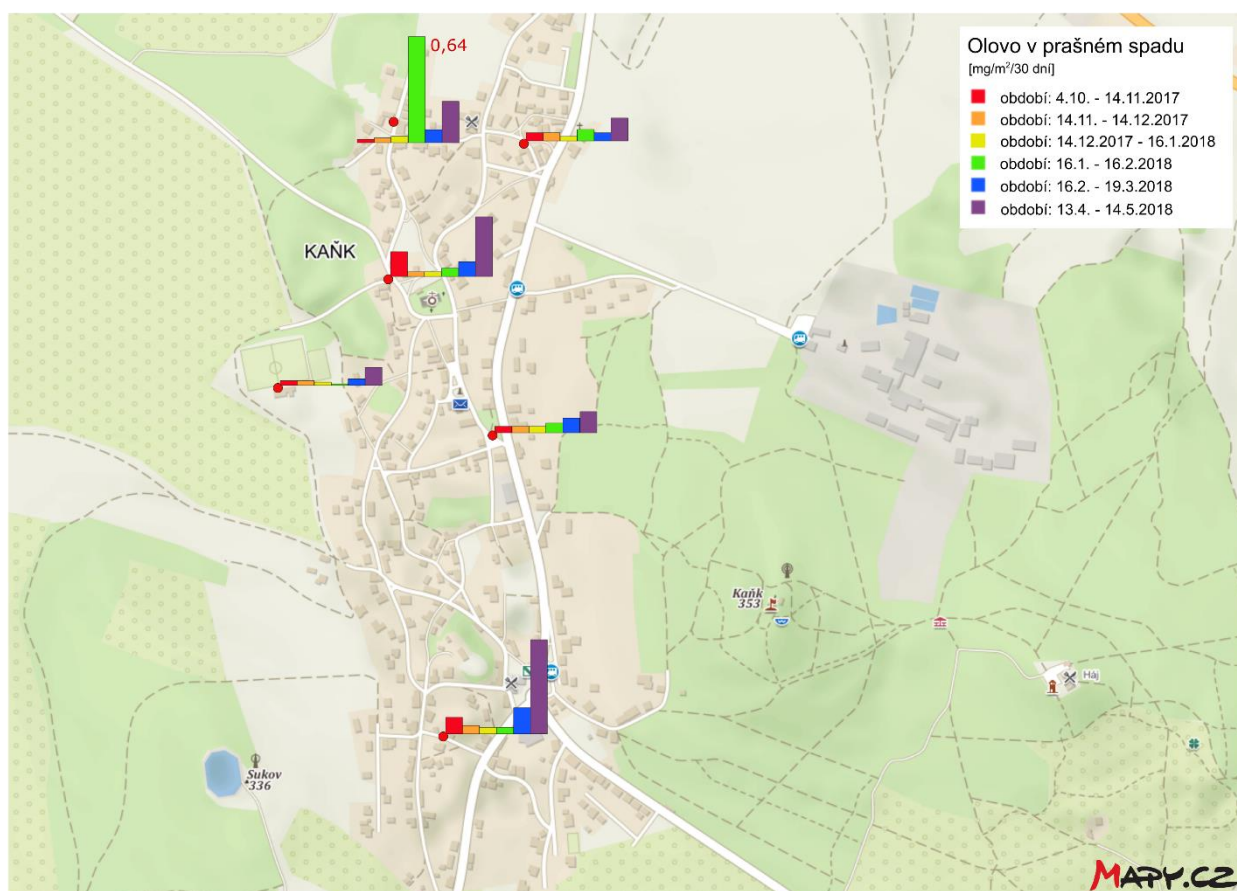
Obr. 4. Arsen v prašném spadu - hodnoty za jednotlivá období



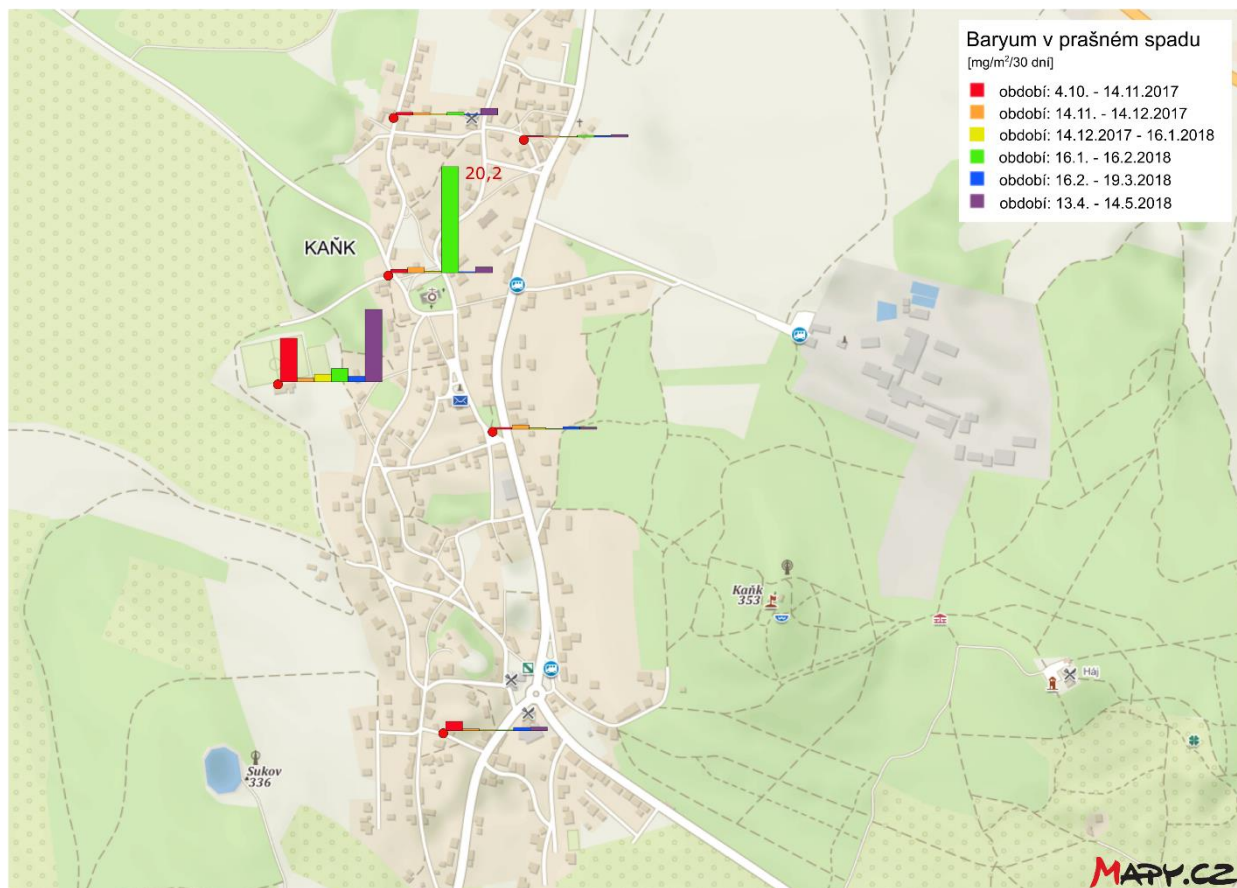
Obr. 5. Stříbro v prašném spadu - hodnoty za jednotlivá období



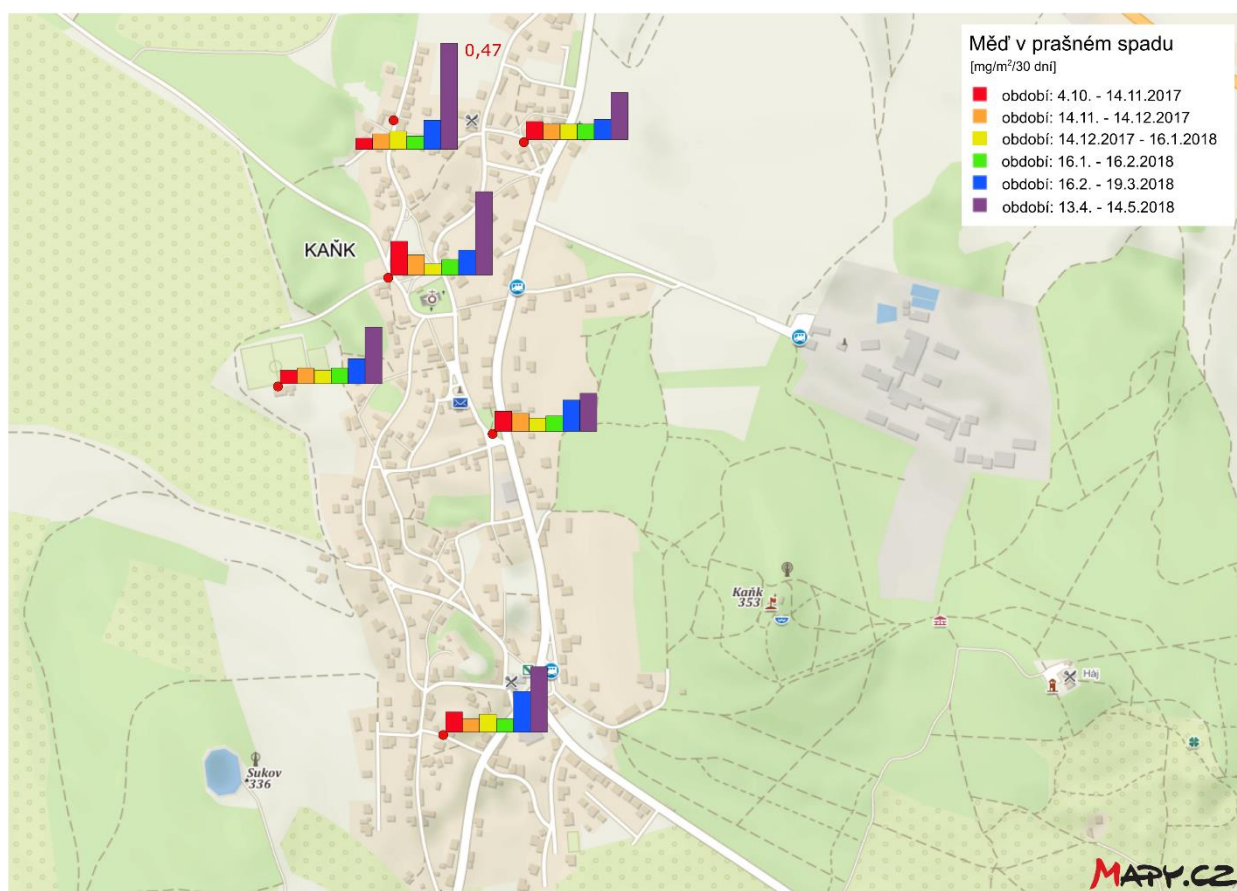
Obr. 6. Kadmium v prašném spadu - hodnoty za jednotlivá období



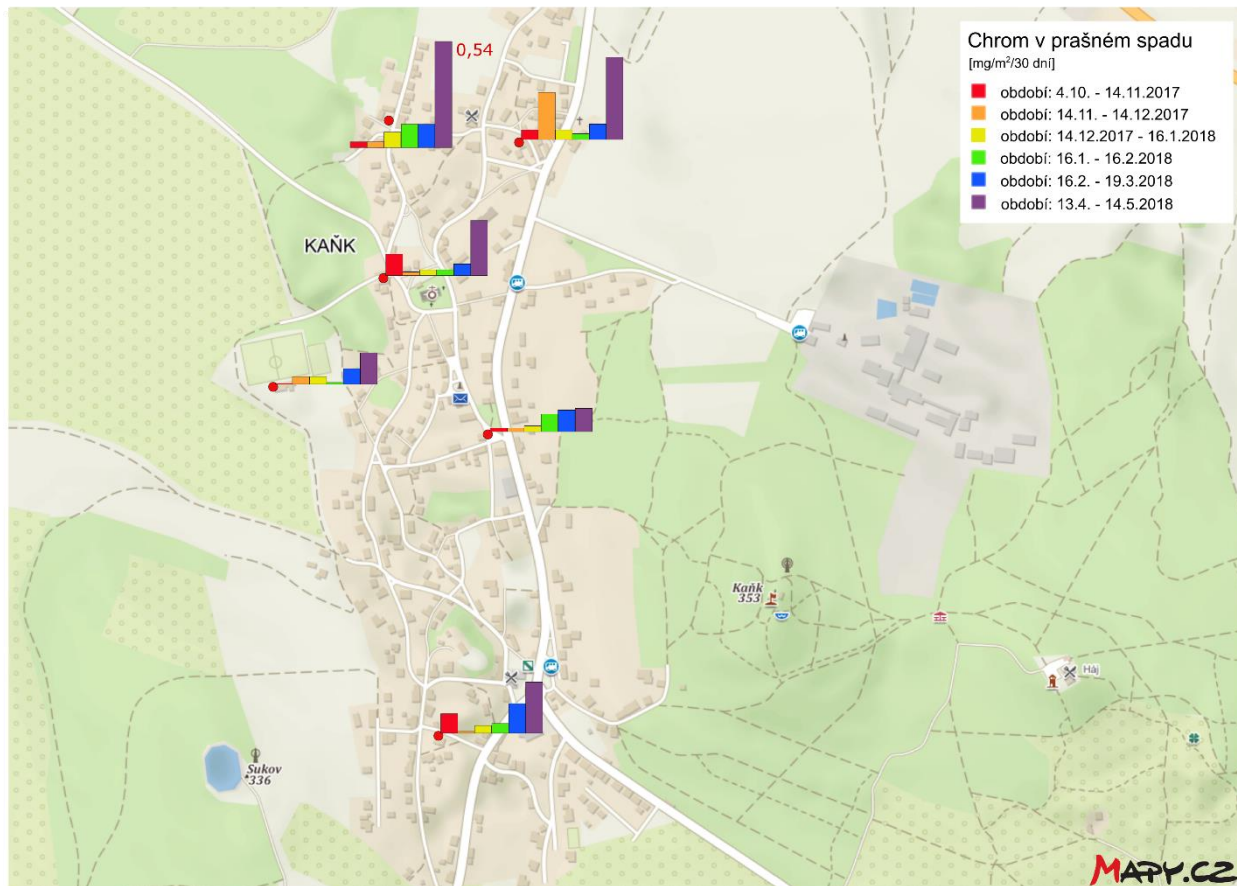
Obr. 7. Olovo v prašném spadu - hodnoty za jednotlivá období



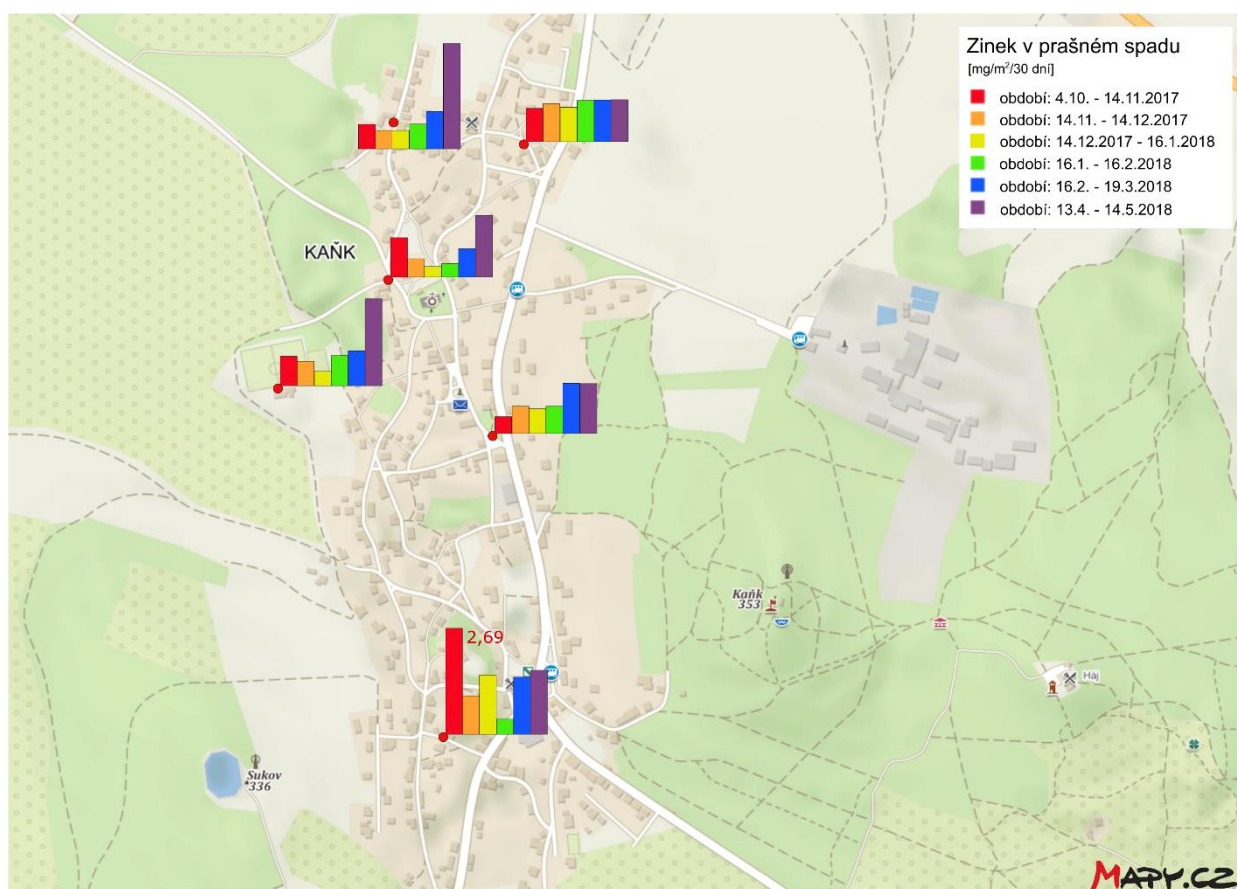
Obr. 8. Baryum v prašném spadu - hodnoty za jednotlivá období



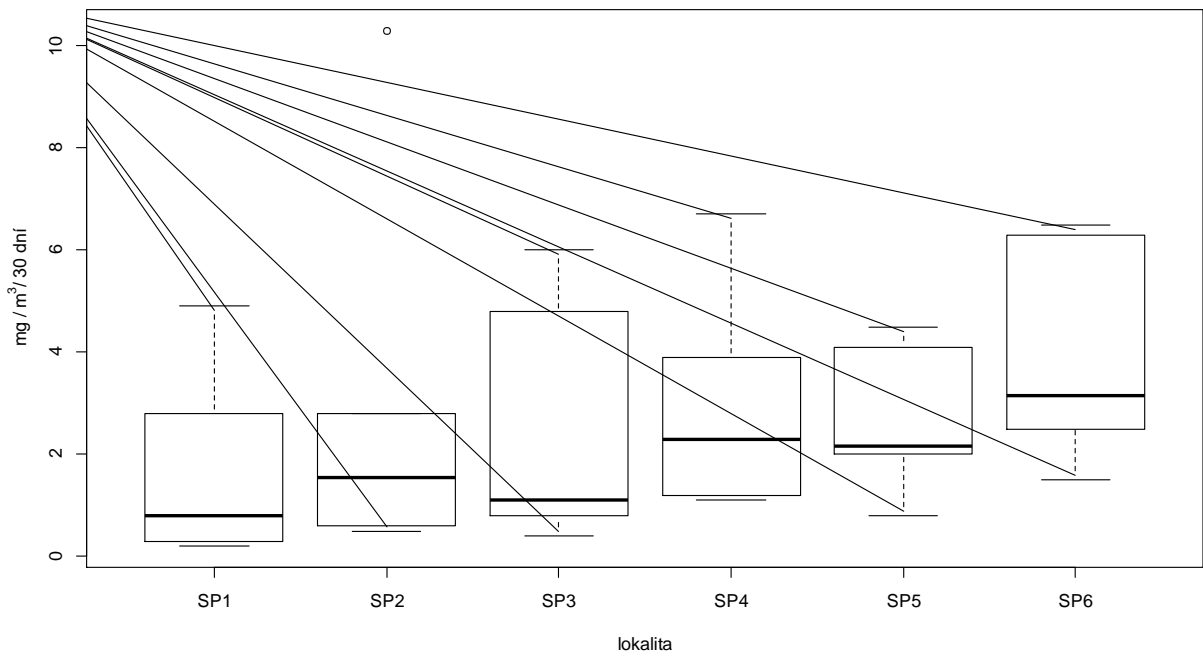
Obr. 9. Měď v prašném spadu - hodnoty za jednotlivá období



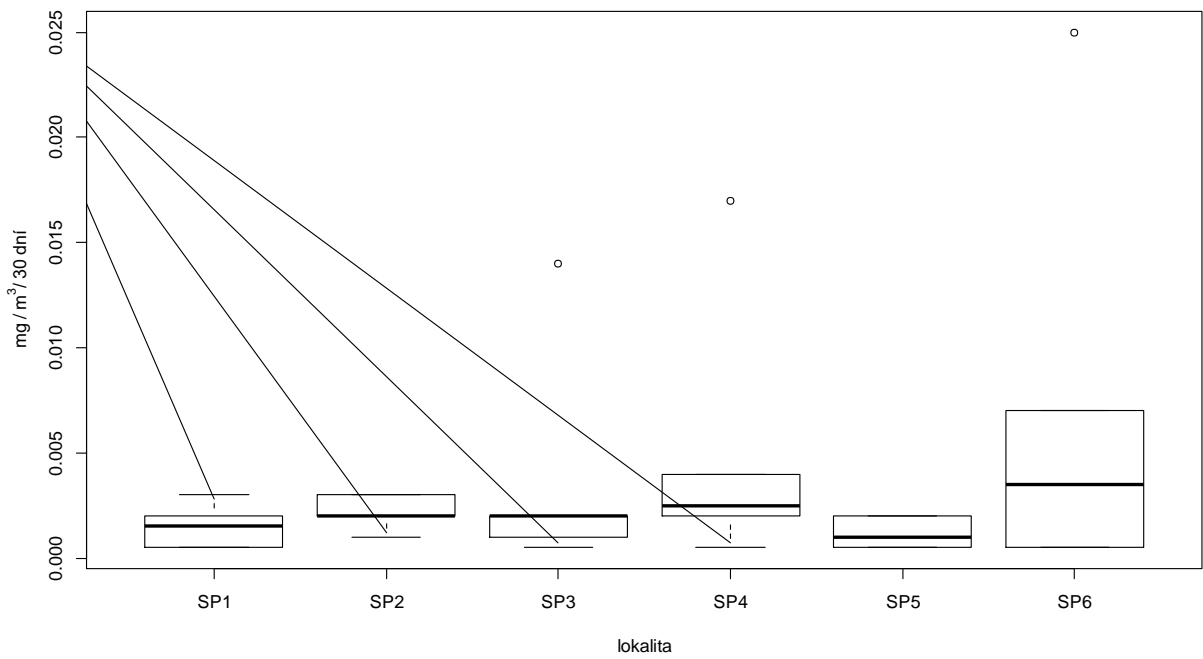
Obr. 10. Chrom v prašném spadu - hodnoty za jednotlivá období



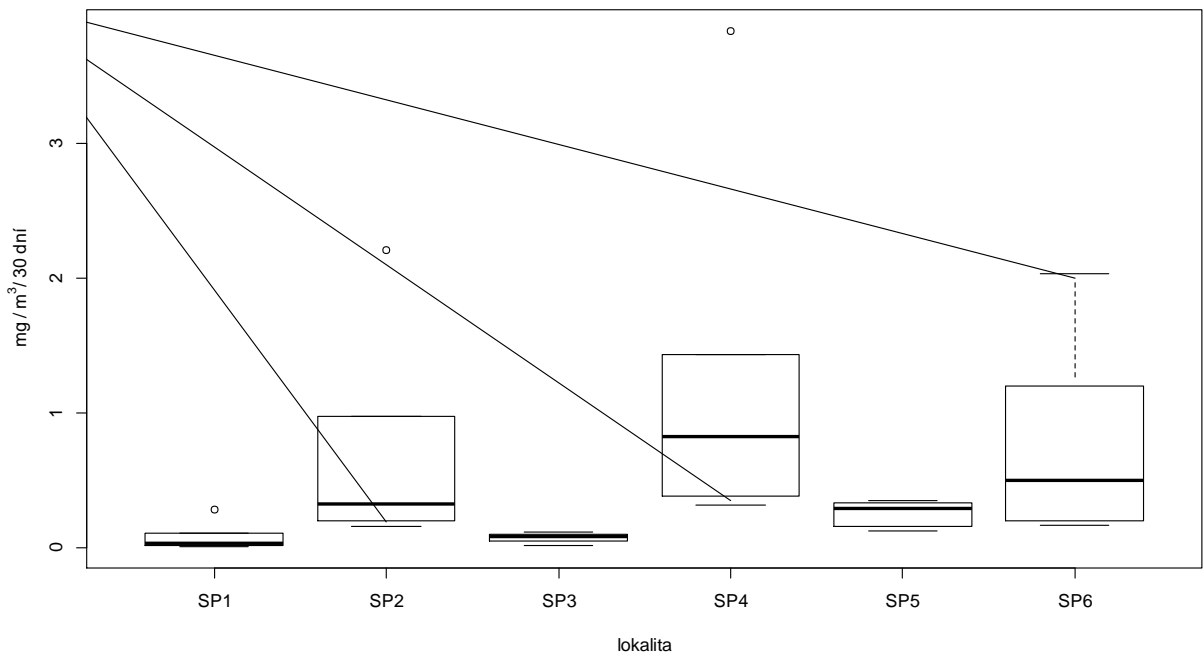
Obr. 11. Zinek v prašném spadu - hodnoty za jednotlivá období



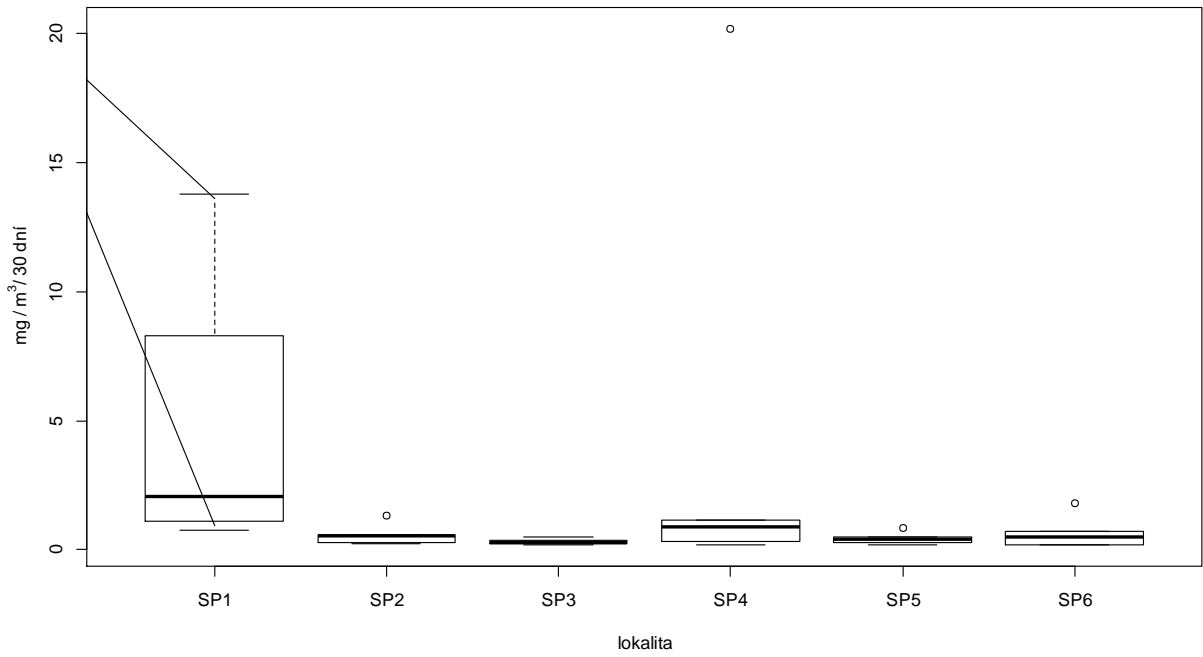
Obr. 12. Prašný spad - popisné ukazatele v závislosti na lokalitě



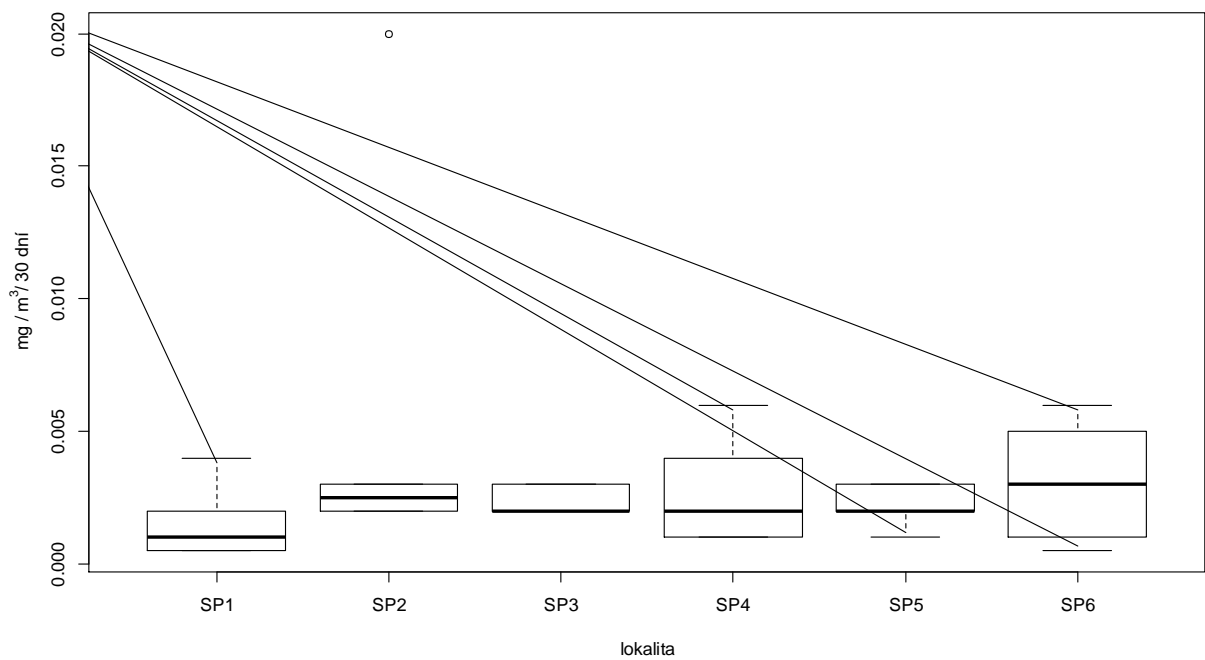
Obr. 13. Stříbro v prašném spadu - popisné ukazatele v závislosti na lokalitě



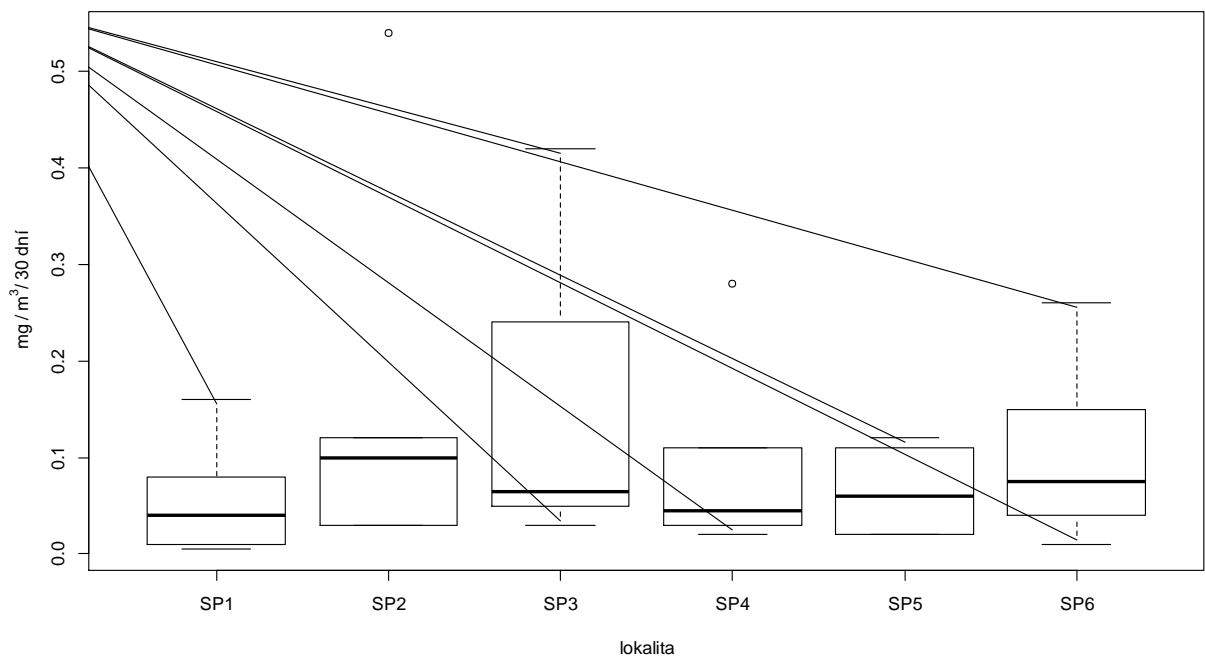
Obr. 14. Arsen v prašném spadu - popisné ukazatele v závislosti na lokalitě



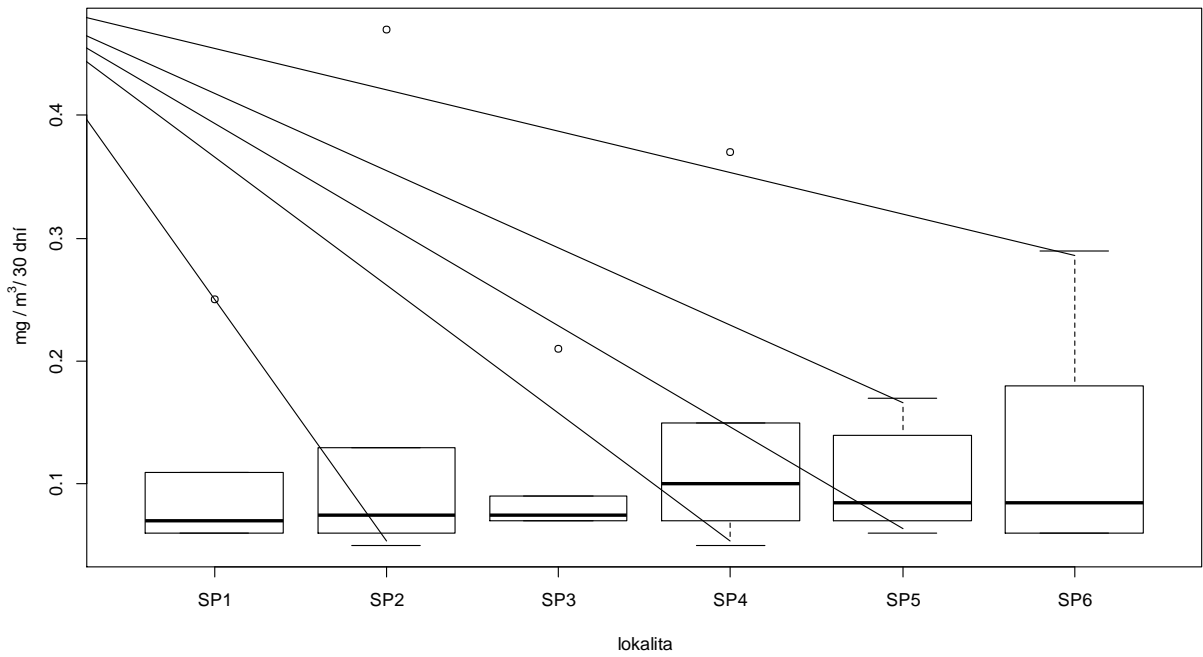
Obr. 15. Baryum v prašném spadu - popisné ukazatele v závislosti na lokalitě



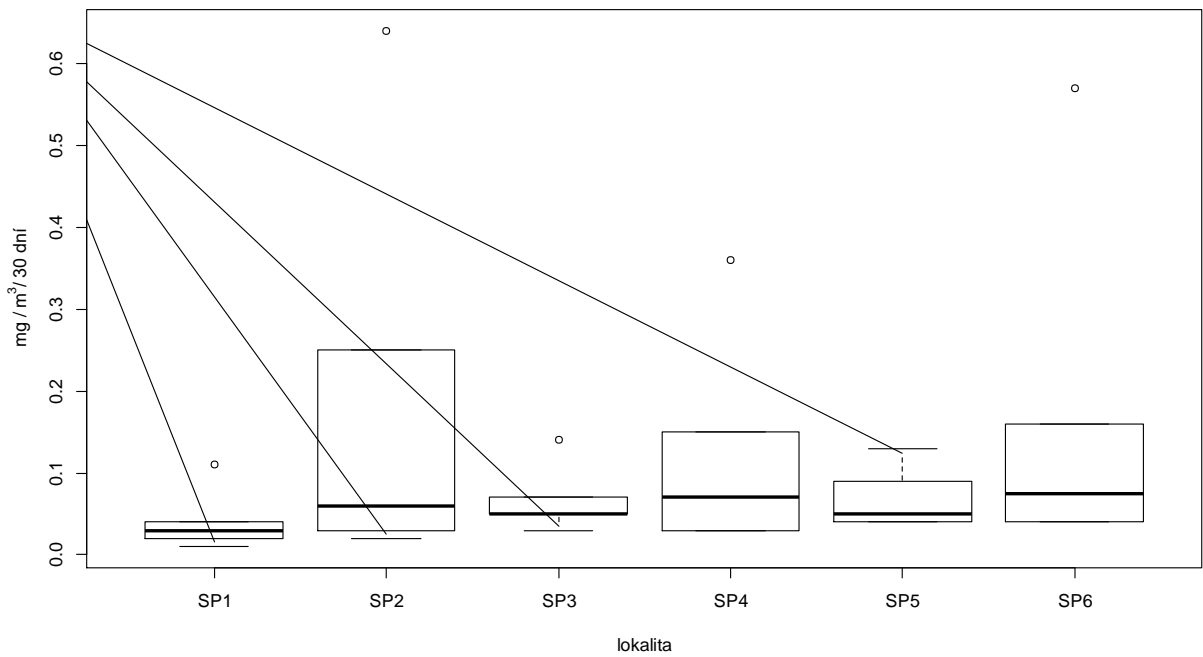
Obr. 16. **Kadmium** v prašném spadu - popisné ukazatele v závislosti na lokalitě



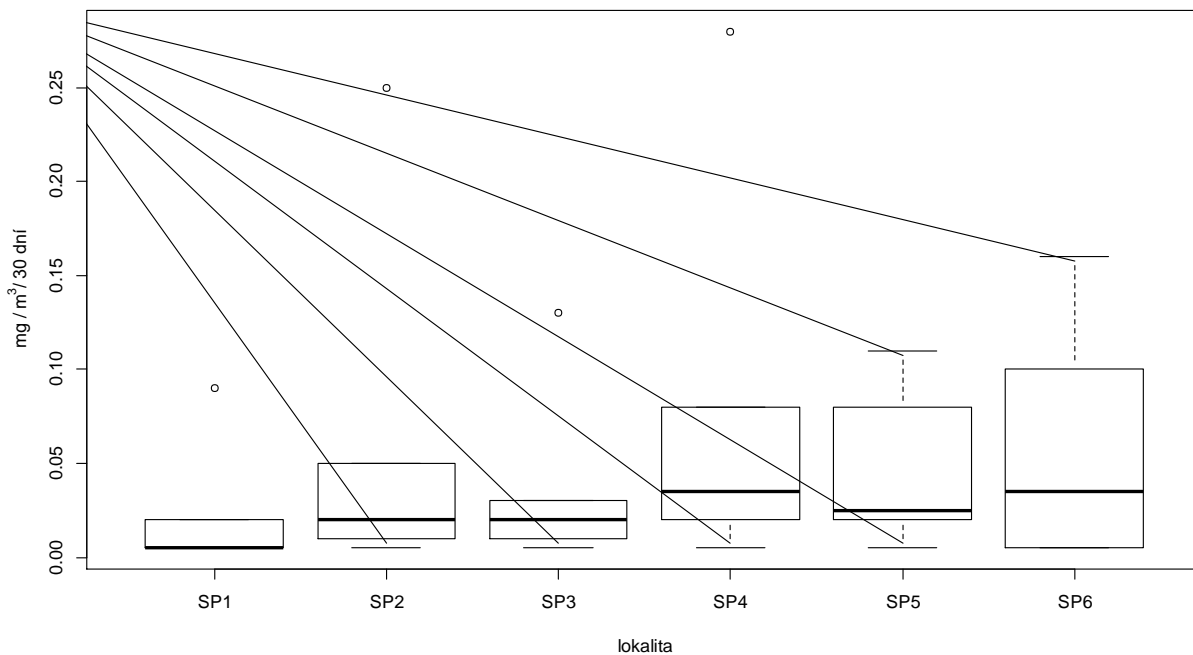
Obr. 17. **Chrom** v prašném spadu - popisné ukazatele v závislosti na lokalitě



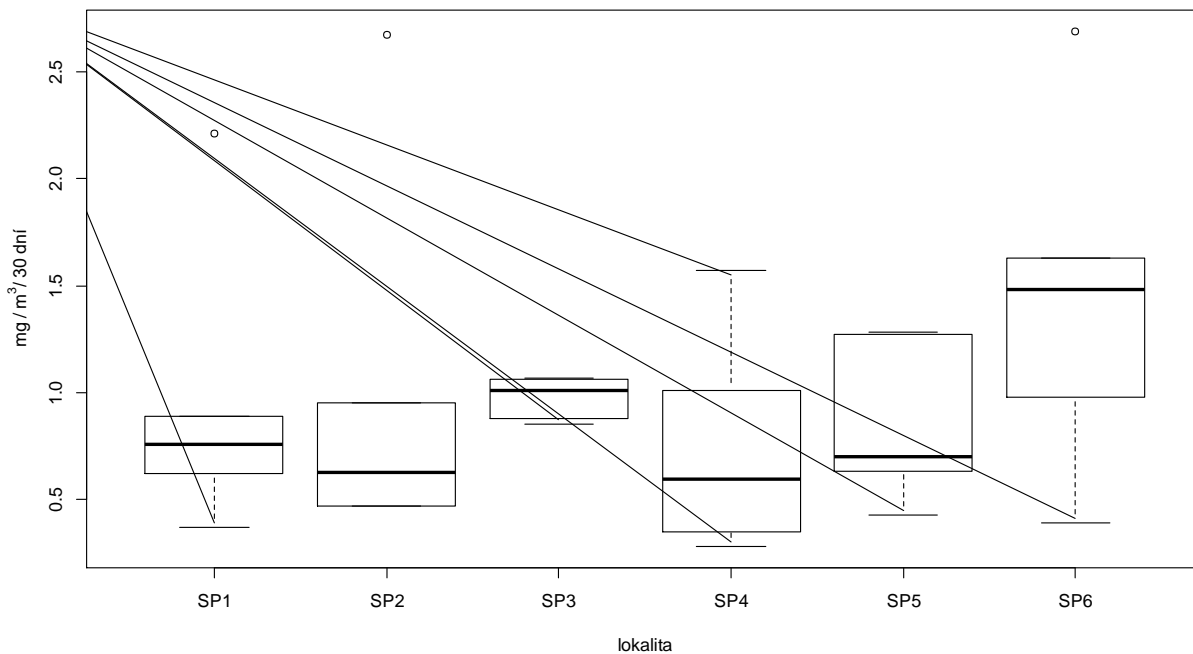
Obr. 18. **Měď** v prašném spadu - popisné ukazatele v závislosti na lokalitě



Obr. 19. **Olovo** v prašném spadu - popisné ukazatele v závislosti na lokalitě



Obr. 20. Vanad v prašném spadu - popisné ukazatele v závislosti na lokalitě

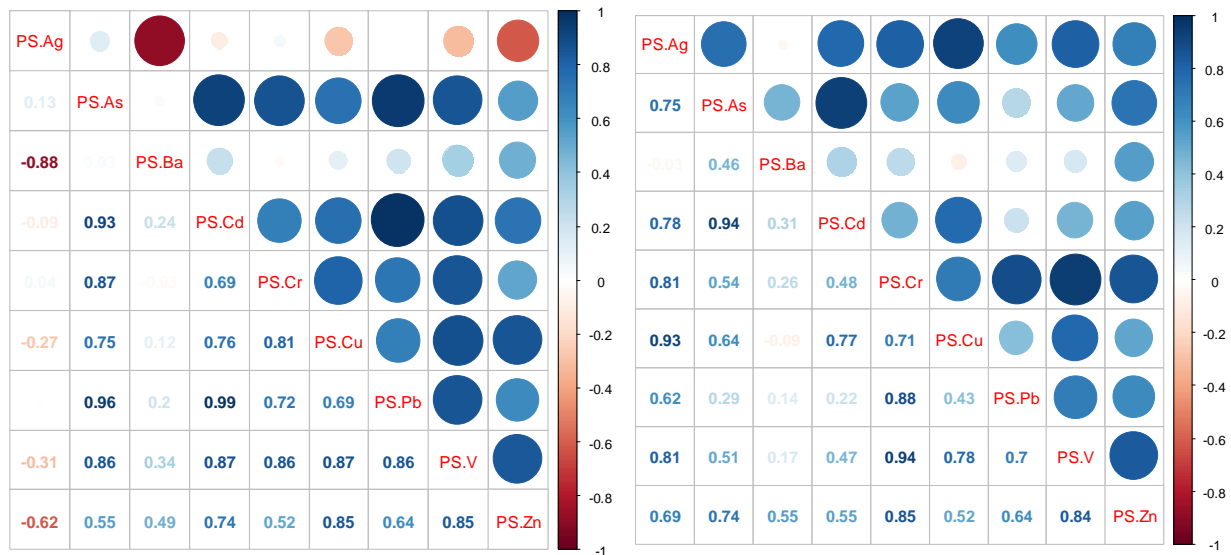


Obr. 21. Zinek v prašném spadu - popisné ukazatele v závislosti na lokalitě

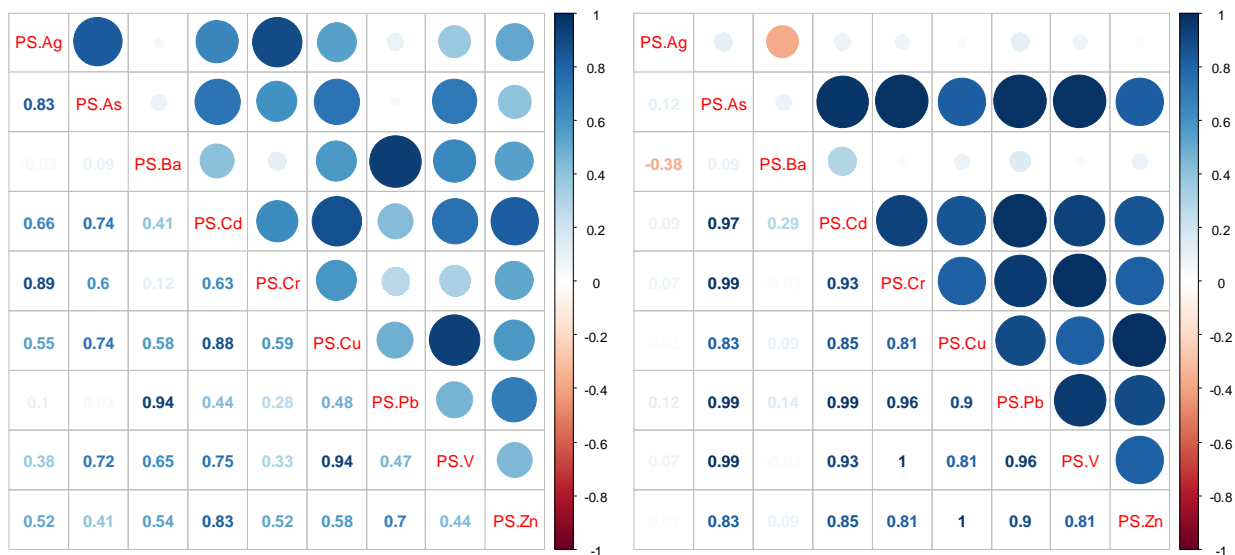
2.3 Vzájemný vztah obsahů kovů v prašném spadu

Pro rozbor vzájemných vztahů zjištěných koncentrací prvků jsme vypočítali korelační koeficient. Tento koeficient jsme zvolili Spearmanova typu. V následujícím uvádíme tedy korelační tabulky pro jednotlivé lokality.

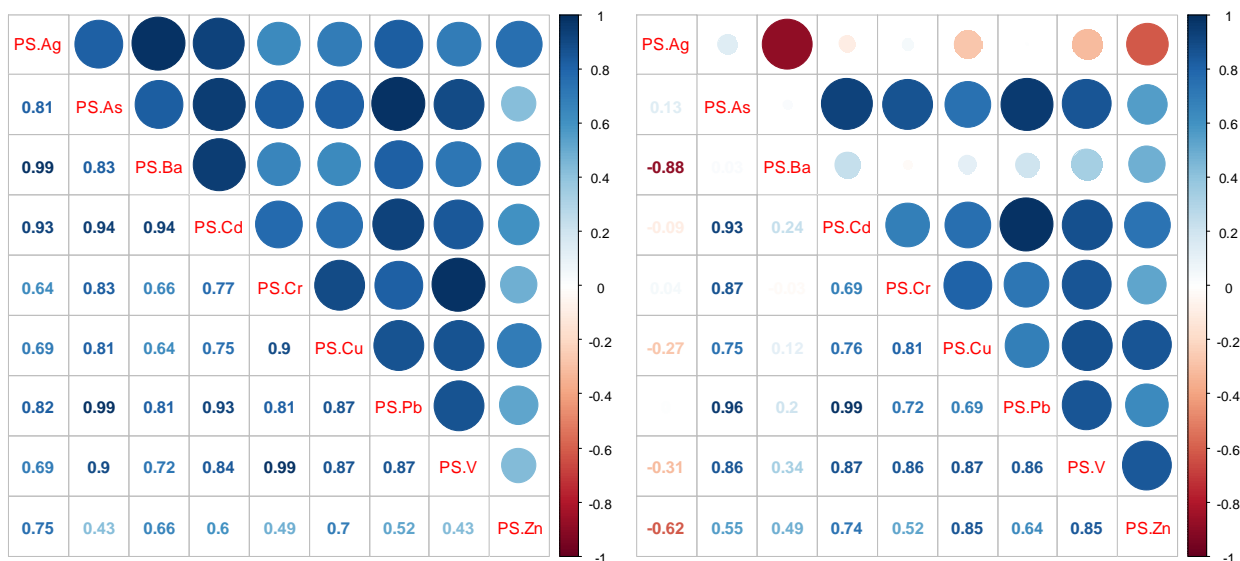
V lokalitě SP1 spolu silně pozitivně korelují As a Pb a rovněž Cd s Pb. V lokalitě SP2 spolu silně pozitivně korelují As a Cd a rovněž Cr s V. Výsledné korelační koeficienty lze nalézt v následujících tabulkách.



Obr. 22 Korelace kovů v lokalitě SP1 (vlevo) a SP2 (vpravo)

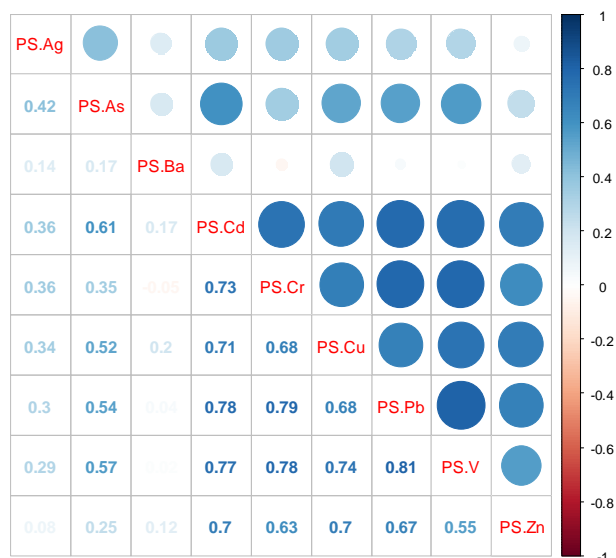


Obr. 23. Korelace kovů v lokalitě SP3 (vlevo) a SP4 (vpravo)



Obr. 24. Korelace kovů v lokalitě SP5 (vlevo) a SP6 (vpravo)

Pro úplnost se podívejme na korelační matici při zahrnutí všech lokalit najednou, tzn. porovnáním koncentrací všech párů zkoumaných prvků.



Obr. 25. Korelace kovů v rámci všech lokalit

V tomto případě jsme neodhalili žádný náznak silné korelace.

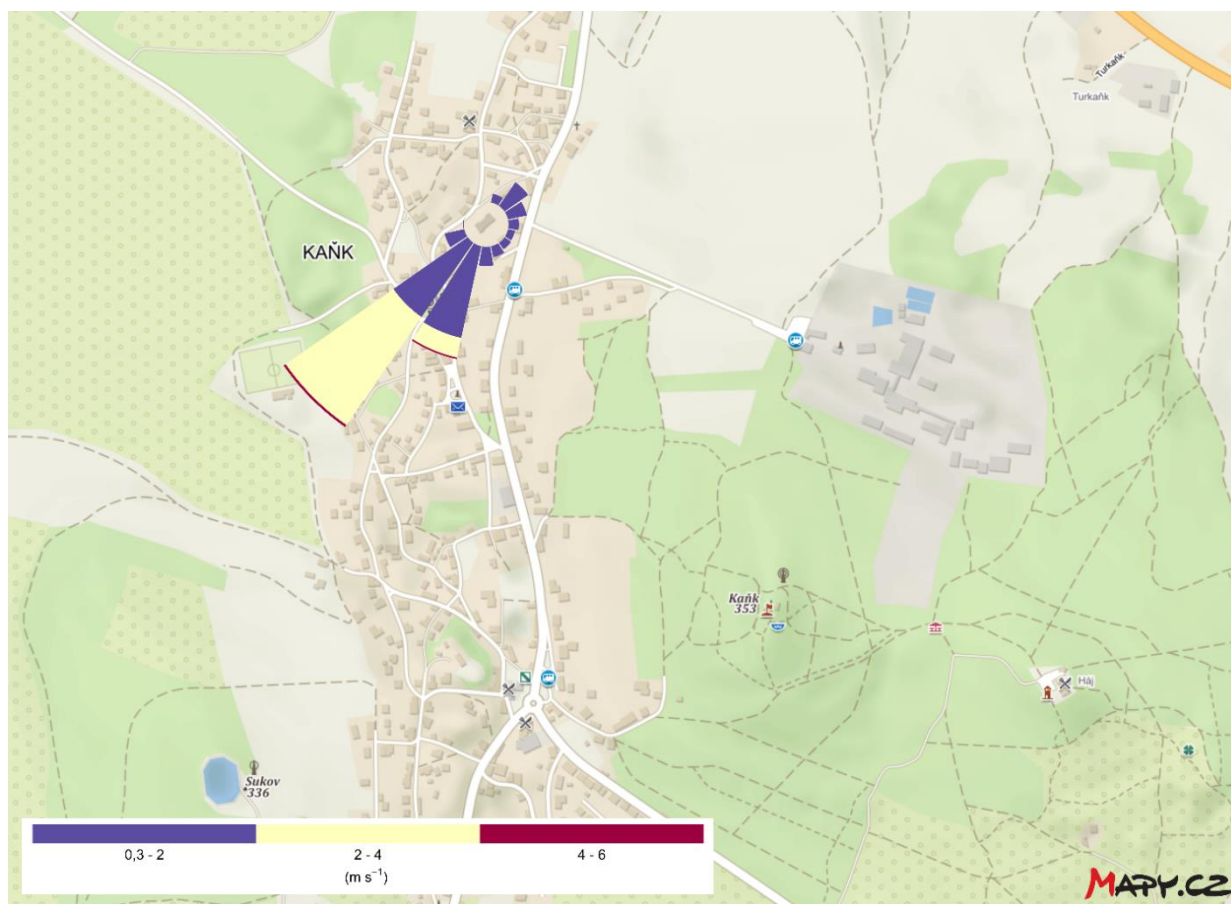
Ukazuje se tedy, že arsen silně pozitivně koreluje s některými prvky, ovšem záleží na lokalitě. Nejvíce silných korelací nacházíme na lokalitě SP4 a SP5. Obecně však můžeme z dat usuzovat, že koncentrace žádné dvojice kovů obsažených v prašném spadu nevykazují nějakou těsnou souvislost. Pro zřetelnější věrohodnější a zřetelnější výsledky studia korelací koncentrací kovů v prašném spadu je zapotřebí mnohem více dat.

3 Aerosolové částice a obsahy navázaných kovů

Měření kvality ovzduší probíhalo měsíc od **2.11.2017** do **2.12.2017** a to na jedné lokalitě, která se nacházela na pozemku mateřské školy na Kaňku (GPS: 15,2721664 v. d.; 49,9776503 s. š.). Monitorovány byly základní meteorologické proměnné (rychlost a směr větru, teplota atd) a koncentrace klasických polutantů – aerosolové částice frakce PM_{10} , NO_2 , NO , NO_x , SO_2 , O_3 . To vše v hodinových údajích. Zároveň byly stanovovány obsahy vybraných kovových prvků, které jsou vázány na aerosol. částice frakce PM_{10} .

3.1 Celková povětrnostní situace

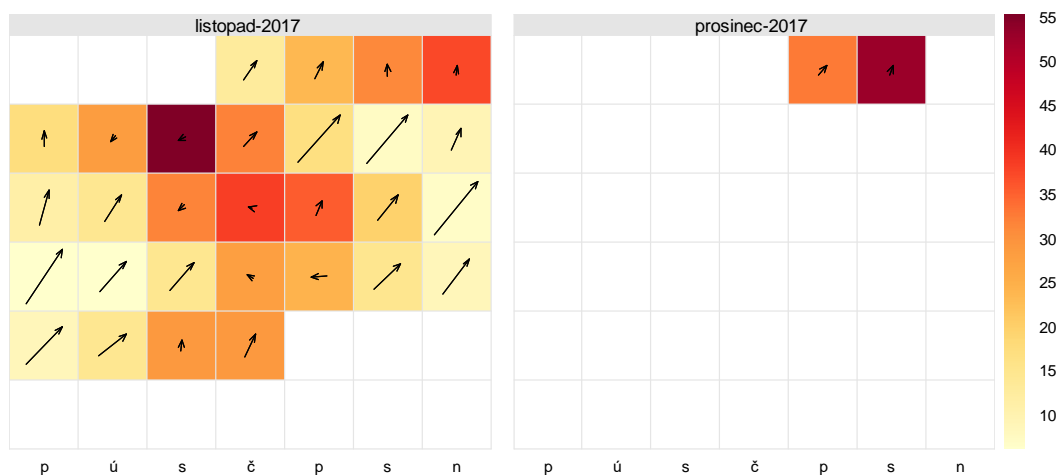
Po dobu monitoringu vál vítr zejména z **jihojihozápadního** a **jihozápadního** směru. Přibližně 14% období celého monitoringu panovalo bezvětrí (tj. dle nastavení měření rychlost $< 0,3$ m/s).



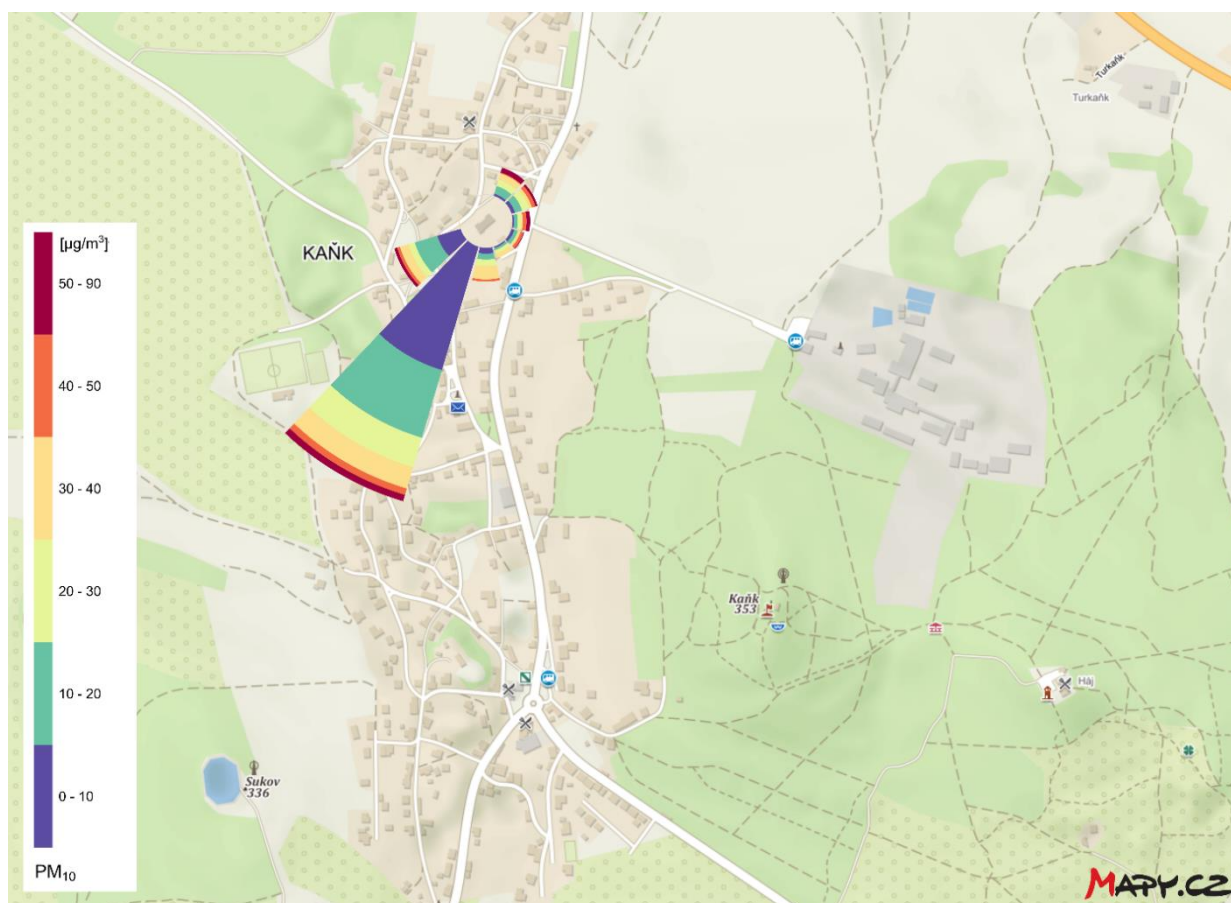
Obr. 26. Zastoupení rychlostí větru v jednotlivých směrech (%)
(2.11. – 2.12.2017)

3.2 Aerosolové částice frakce PM_{10}

Aerosolové částice (polétavý prach) frakce PM_{10} představují respirabilní frakci prašnosti. V prvé řadě jsme porovnali koncentrace tohoto polutantu s imisním limitem uvedeným v zákonu o ochraně ovzduší (201/2012 v aktuálním znění). Jedná se o imisní limit pro aerosol. částic frakce PM_{10} s dobou průměrování 24 hod, který činí $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tento limit byl překročen u **dvou dnů** a sice **8.11.** (24-hod průměr = $54,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a **2.12.2017** (24-hod průměr = $52,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Obr. 27. Průměrné denní koncentrace aerosol. částic frakce PM_{10} a jejich souvislost s vektory průměrného směru větru (barevná škála označuje koncentraci polutantu v $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Obr. 28. Zastoupení koncentrací aerosol. částic frakce PM_{10} v jednotlivých směrech (%) (koncentrační růžice) (celé období monitoringu: 2.11. – 2.12.2017)

Při zkoumání souvislosti importu aerosol. částic frakce PM_{10} se ukazuje, že neexistuje směr, který by převládal ve smyslu nejvyšších koncentrací. Největší přísun této polévaté prašnosti je pochopitelně díky převažujícímu proudění vzduchu z jihozápadního směru. Měření tedy neukazuje na nějaký jasný převládající zdroj polévaté prašnosti.

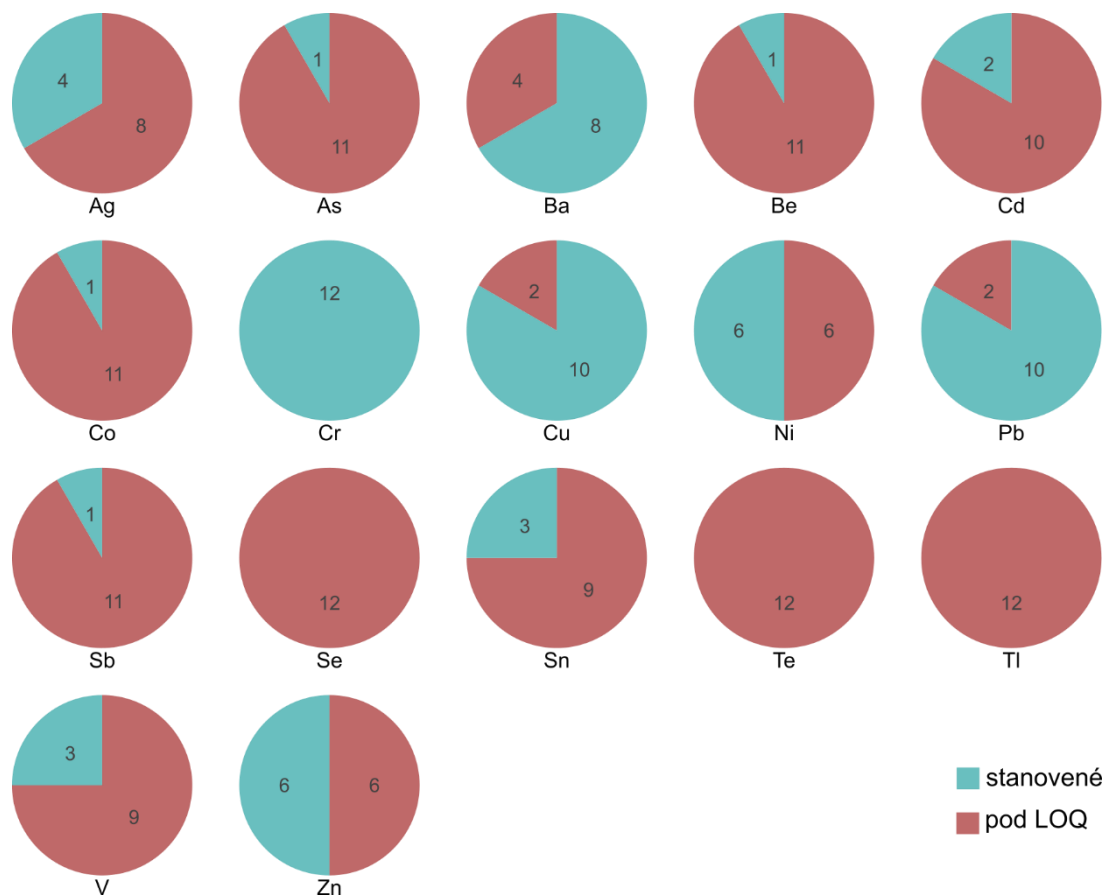
3.3 Koncentrace kovových prvků vázaných na aerosolové částice frakce PM₁₀

V celkem 12 dnech monitoringu byl proveden rozbor obsahu [ng/m³] kovových prvků, které jsou vázány na aerosol. částice frakce PM₁₀. Zkoumané kovy byly tytéž jako v případě prašného spadu.

datum odběru	Ag	As	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Te	Tl	V	Zn
2.11.2017	<0,1	<1	5,8	<0,1	<0,1	<0,1	10,5	4,7	3,1	4,3	<0,4	<10	<1	<4	<1	0,32	23
5.11.2017	396	<1	4,1	<0,1	<0,1	<0,1	7,3	1,7	5,4	2,6	<0,4	<10	4,2	<4	<1	0,32	13
8.11.2017	<0,1	<1	<4	<0,1	<0,1	<0,1	4,1	3,7	3,0	3,3	<0,4	<10	<1	<4	<1	<0,2	12
11.11.2017	151	<1	<4	<0,1	<0,1	<0,1	6,2	<1	<2	<1	<0,4	<10	<1	<4	<1	<0,2	<10
14.11.2017	<0,1	1,2	4,7	<0,1	<0,1	0,44	7,6	1,9	<2	1,5	<0,4	<10	<1	<4	<1	<0,2	<10
17.11.2017	<0,1	<1	5,5	0,31	<0,1	<0,1	8,6	2,3	<2	1,9	<0,4	<10	<1	<4	<1	<0,2	11
20.11.2017	<0,1	<1	<4	<0,1	<0,1	<0,1	5,4	7,9	10,8	1,5	<0,4	<10	3,3	<4	<1	<0,2	14
23.11.2017	<0,1	<1	<4	<0,1	<0,1	<0,1	6,9	2,6	<2	3,3	<0,4	<10	<1	<4	<1	<0,2	<10
26.11.2017	<0,1	<1	<4	<0,1	<0,1	<0,1	4,9	<1	<2	<1	<0,4	<10	<1	<4	<1	<0,2	<10
29.11.2017	<0,1	<1	5,9	<0,1	0,30	<0,1	7,5	1,8	<2	2,6	0,64	<10	<1	<4	<1	<0,2	<10
2.12.2017	0,10	<1	6,1	<0,1	0,21	<0,1	10,7	3,0	3,7	3,6	<0,4	<10	<1	<4	<1	0,30	14
5.12.2017	0,14	<1	10,6	<0,1	<0,1	<0,1	9,2	1,4	3,4	1,4	<0,4	<10	2,8	<4	<1	<0,2	<10

Tab. 2. Koncentrace kovových prvků [ng/m³] vázaných na aerosol. částice frakce PM₁₀ ve vybraných dnech monitoringu ovzduší

V mnoha případech byla výsledná hodnota pod limitem stanovitelnosti (LOQ). Shrnutí ukazuje následující graf.



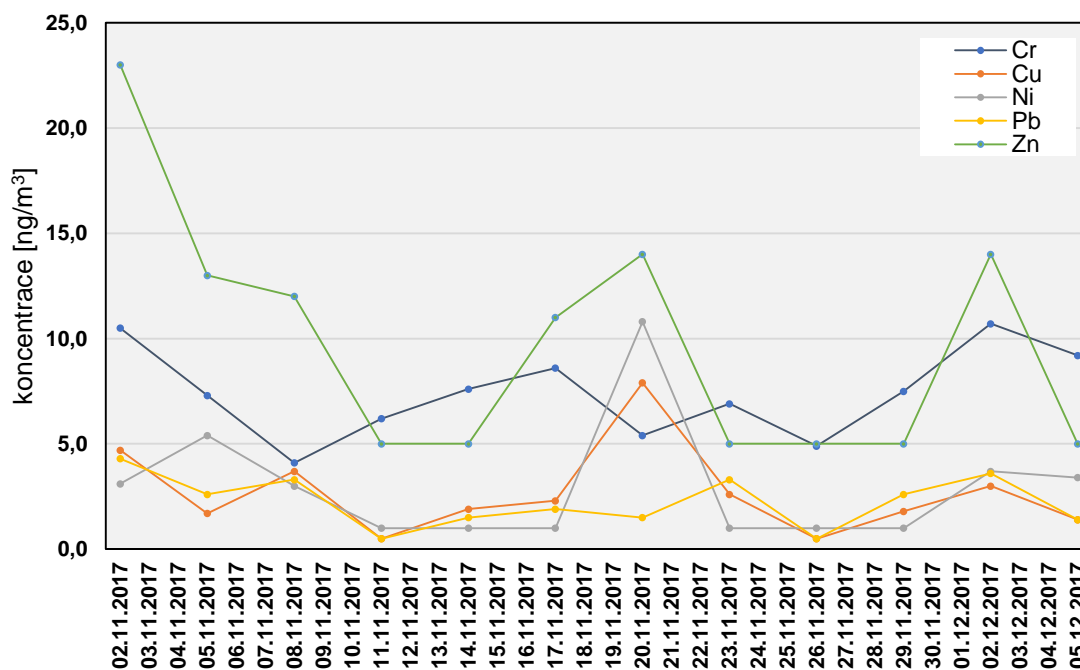
Obr. 29. Zastoupení počtu výsledných hodnot koncentrací kovů v aerosol. částicích frakce PM₁₀ pod mezí stanovitelnosti (LOQ)

V následující tabulce uvádíme prvky, u kterých převládají hodnoty pod LOQ s uvedením tohoto limitu.

prvek	LOQ
Ag	0,1
As	1
Be	0,1
Cd	0,1
Co	0,1
Sb	0,4
Se	10
Sn	1
Te	4
Tl	1
V	0,2

U **arsenu** došlo pouze v jediném případě ke stanovení koncentrace nad LOQ ($1,2 \text{ ng/m}^3$) a to ze vzorku ze dne 14.11.2017. Celkem 4 hodnoty u **stříbra** byly stanoveny nad hodnotou LOQ, z toho 2 výsledné hodnoty jsou velmi odlehlé (396 a 151 ng/m^3).

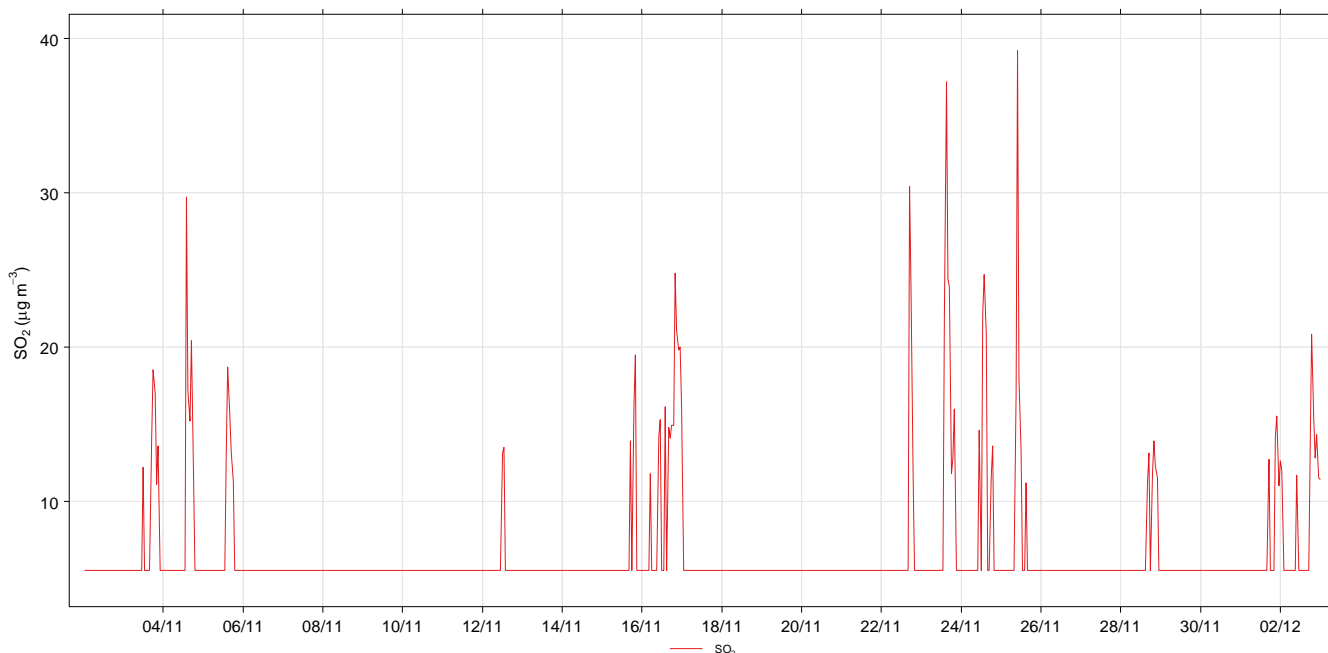
Kovy, u nichž jsou hodnoty pod limitem LOQ zastoupeny v menší míře jsou Cr, Cu, Ni, Pb, Zn. Následující graf ukazuje zjištěné koncentrace u těchto prvků.



Obr. 30. Koncentrace vybraných kovů v aerosol. částicích frakce PM₁₀

3.4 Situace oxidu siřičitého (SO₂)

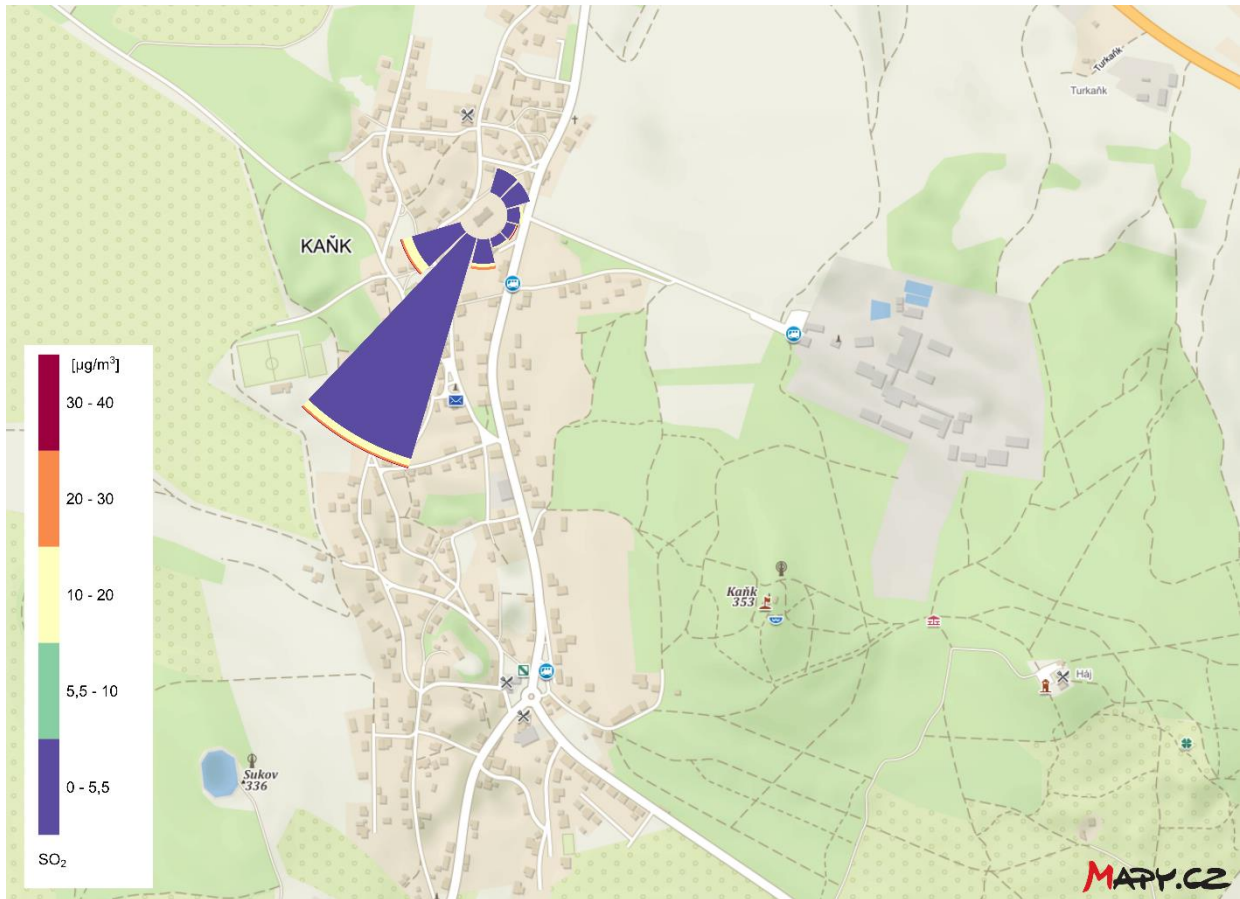
V 90% hodinových údajů je výsledná hodnota koncentrace SO₂ pod limitem stanovitelnosti ($< 11 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). Pro znázornění časové řady koncentrací tohoto polutantu jsme nahradili hodnoty pod LOQ poloviční hodnotou, tj. $5,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.



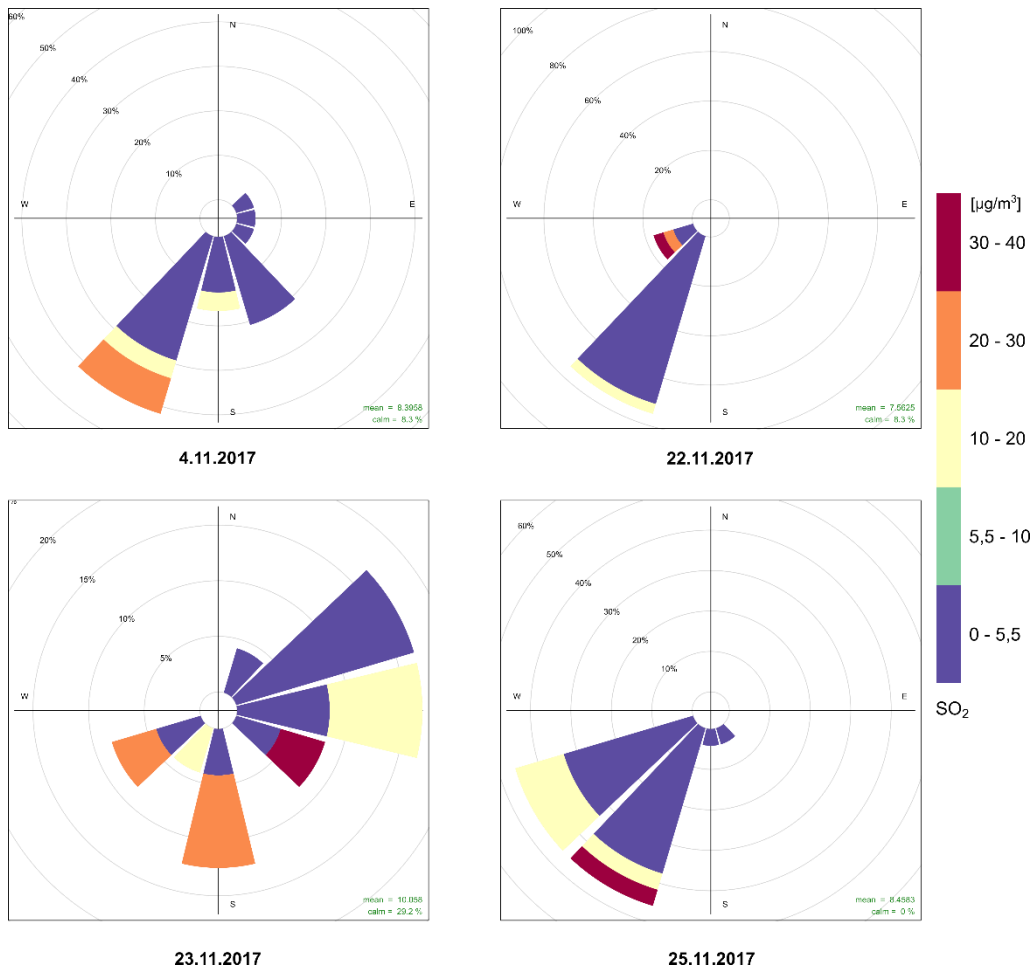
Obr. 31. Průběh hodinových koncentrací SO₂ v ovzduší (celé období monitoringu: 2.11. – 2.12.2017)

S použitím imisních limitů obsažených v zákonu o ochraně ovzduší (201/2012 v aktuálním znění) lze konstatovat, že: (1) žádná hodinová koncentrace SO₂ nepřekročila limitní hodnotu 350 µg/m³, (2) žádný 24-hod průměr nepřekročil limitní hodnotu 125 µg/m³.

Při rozboru koncentrační růžice za celé období monitoringu se nejvíce jeví žádný směr signifikantní z hlediska importu vyšších koncentrací SO₂. Ovšem během několika dní došlo ke zvýšení koncentrací SO₂. Nejvyšší koncentrace dosahovaly téměř 40 µg/m³. Při rozboru dnů, kdy hodinové koncentrace překročily 25 µg/m³. (4.11., 22.11., 23.11., 25.11.2017) jsme zpracovali koncentrační růžici pro vizualizaci souvislosti koncentrací polutantu a směru proudění větru. Směry, které byly spojené s nejvyššími koncentracemi jsou různé – např. 22.11. se jedná o západojihozápadní směr, 23.11. pak o jihovýchodní směr a 25.11. jde o jihojihozápadní směr **Rozbor tedy neodhalil určitý jeden směr proudění vzduchu, který by byl všeobecně spojen s nevyššími koncentracemi SO₂.**



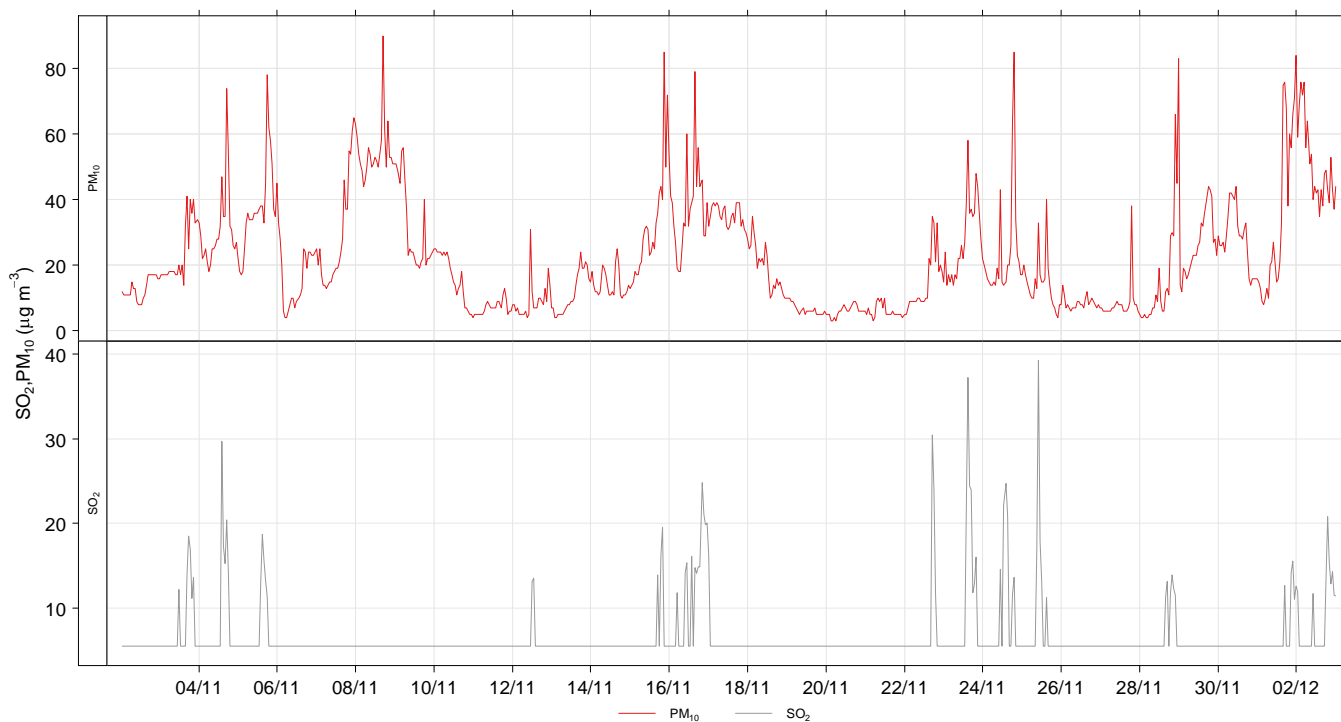
Obr. 32. Zastoupení koncentrací SO_2 v jednotlivých směrech (%)
 (celé období monitoringu: 2.11. – 2.12.2017)



Obr. 33. Koncentrační růžice SO₂ ve dnech kdy byla překročena koncentrace 25 µg/m³.

3.5 Souvislost obsahu SO₂, aerosol. částic frakce PM₁₀ a kovových prvků na ně vázaných v ovzduší

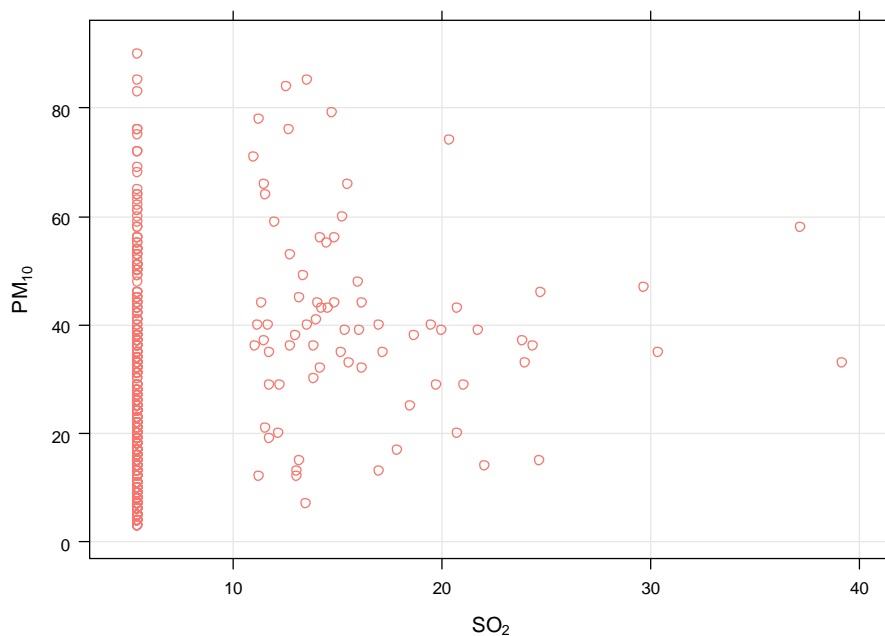
Zaměřili jsme se tedy na otázku, zda se ve dnech, které jsou charakterizovány vyššími koncentracemi SO₂, nějak významně změnily koncentrace aerosol. částic frakce PM₁₀ a kovových prvků na ně vázaných.



Obr. 34. Průběh hodinových koncentrací aerosol. částic frakce PM_{10} a SO_2 v ovzduší (celé období monitoringu: 2.11. – 2.12.2017)

Jak bylo výše uvedeno, ve dvou dnech monitoringu došlo k překročení 24-hod imisního limitu pro aerosol. částice frakce PM_{10} a to 8.11. a 2.12.2018. Při letném pohledu na Obr. 34 vidíme, že obsah SO_2 v ovzduší se výrazněji nezměnil, 8.11. v žádném případě a 2.12. nepatrně vzrostl.

Z grafu Obr. 35 je evidentní, že koncentrace částic PM_{10} nijak nekoreluje s koncentrací SO_2 .



Obr. 35. Vztah koncentrací SO_2 a aerosol. částic frakce PM_{10} (celé období monitoringu: 2.11. – 2.12.2017)

V souvislosti s otázkou, zda koncentrace kovů vázaných na aerosol. částice nějak nesouvisí s koncentracemi SO_2 v ovzduší je situace obtížná, jelikož mnoho výsledků leží pod mezí stanovitelnosti. V tomto smyslu neznáme jak se

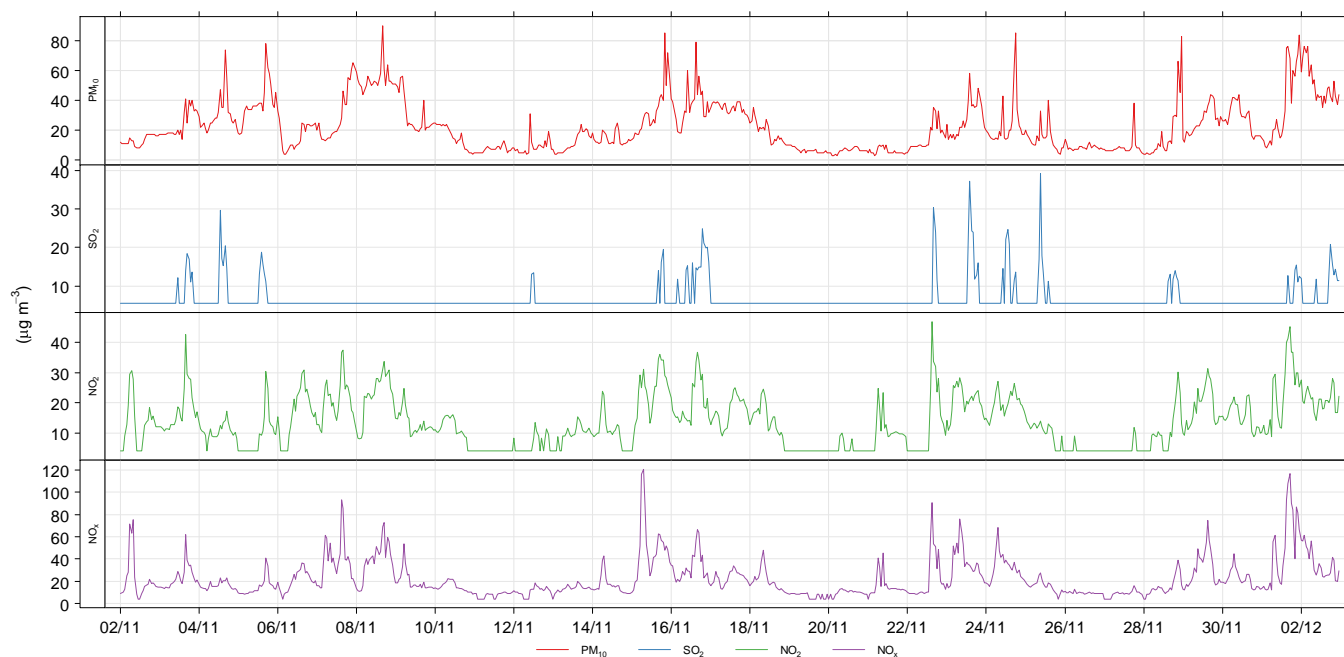
koncentrace kovů chovají pod touto hodnotou a je v zásadě nesmyslné zkoumat jejich korelaci s obsahem SO₂. Otázka je zvláště významná z toho důvodu, zdali kovové prvky v ovzduší nepocházejí např. ze spalování uhlí.

S použitím polovičních hodnot mezi stanovitelnosti pro jednotlivé prvky jsme přesto vytvořili korelační matici (Obr. 37), která znázorňuje jednak graficky průběh hodnot mezi kovy navzájem a mezi koncentracemi SO₂ a potom rovněž korelační koeficient Spearmanova typu. Z matice jsme vyřadili kovy jako Se, Te a Tl z důvodu všech výsledných hodnot pod mezí stanovitelnosti. Z této matice je patrné, že se **žádný vztah mezi koncentrací zkoumaných kovových prvků a koncentrací SO₂ v ovzduší neprokázal. Nemí patrný ani žádný vztah mezi kovy navzájem. Je tedy nepravděpodobné, že by obsah kovů v ovzduší nějak souvisel se spalováním tuhých paliv v domácnostech či jiných zdrojích.**

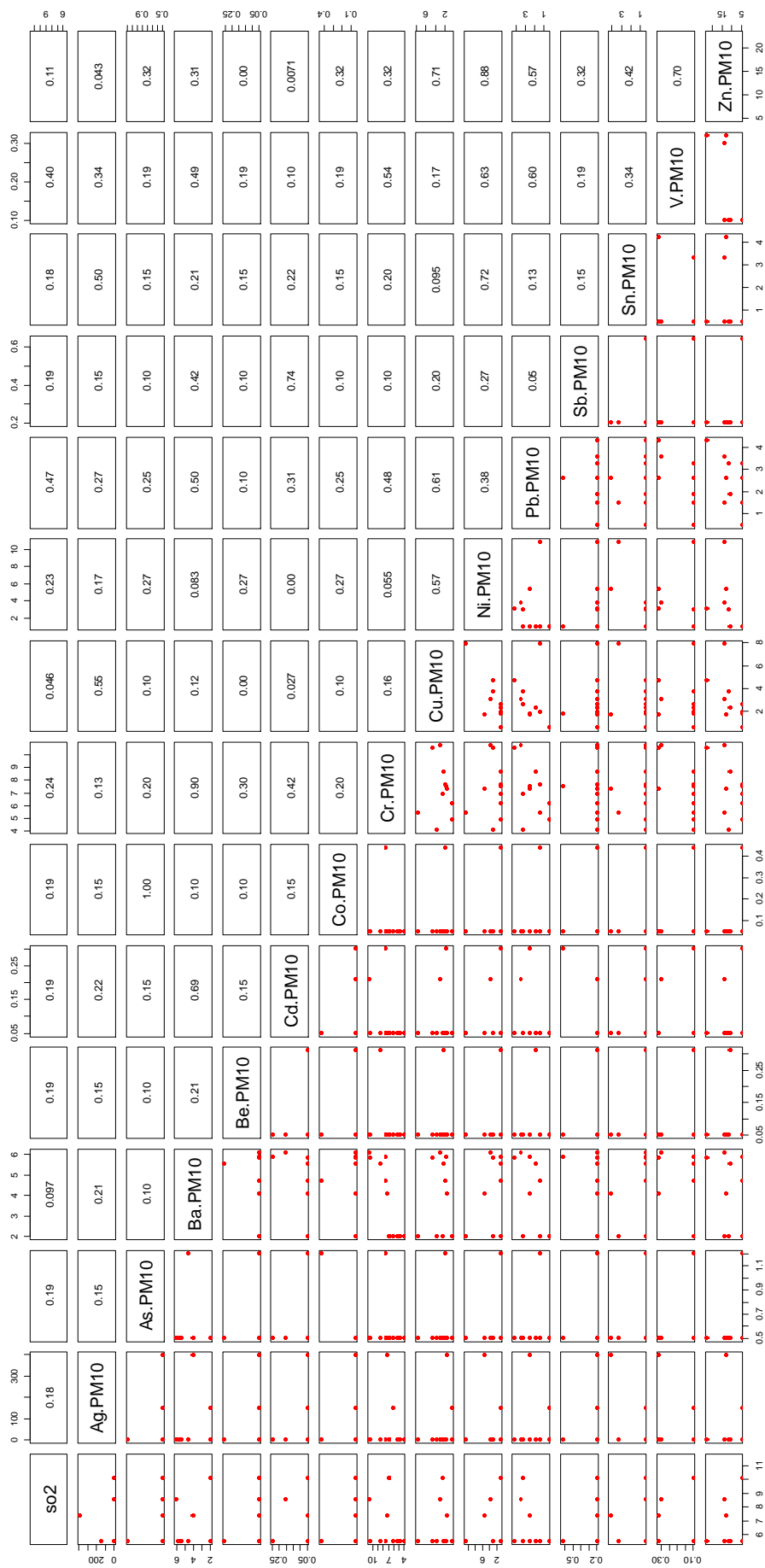
3.6 Situace oxidů dusíku a oxidu dusičitého a troposferického ozónu (NO_x, NO₂, O₃)

Z hlediska legislativního limitu pro NO₂ (1-hod limit = 200 µg/m³) **nebyla v průběhu monitoringu tato hodnota překročena.** V případě ozónu **nebyl rovněž překročen** legislativní limit 120 µg/m³ (maximální denní osmihodinový průměr).

Veškeré hodinové údaje o koncentraci ozónu byly pod mezí stanovitelnosti 10 µg/m³.



Obr. 36. Průběhy koncentrací polutantů v ovzduší na Kaňku (celé období monitoringu: 2.11. – 2.12.2017)



Obr. 37. Vzťah medzi kovovými prvky väzaných na aerosol, častice PM10 navzájom a ke koncentraciám SO₂ (udány korelační koeficienty Spearmanova typu, veľkosť)