



ČESKÝ
HYDROMETEOROLOGICKÝ
ÚSTAV

TECHNICKÝ DOKUMENT ČHMÚ

MĚŘICÍ KAMPAŇ A IDENTIFIKACE ZDROJŮ KADMIA NA TANVALDSKU V LÉTĚ 2016 A ZIMĚ 2016/2017

ZPRÁVA INTERNÍHO PROJEKTU ČHMÚ

Autoři:

Ondřej Vlček, Helena Plachá, Miroslav Bitter, Štěpán Rychlík,
Eliška Žabková, Roman Juras

Organizace:

Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17,
143 06 Praha 412-Komořany

Datum vydání:

24. května 2017



Dokument neprošel lektorským řízením ani jazykovou korekturou.

Obsah

ÚVOD	3
HISTORIE MĚŘENÍ KADMIA NA TANVALDSKU	4
PODNĚT K ZALOŽENÍ STACIONÁRNÍ STANICE ČHMÚ TANVALD-ŠKOLKA	6
ZDROJE EMISÍ KADMIA V OKRESE JABLONEC NAD NISOU	7
POPIS MĚŘICÍCH KAMPAŇÍ	8
VÝSLEDKY	12
VÝSLEDKY - LÉTO	12
VÝSLEDKY - ZIMA	18
URČENÍ MOŽNÝCH ZDROJŮ KADMIA	26
KORELAČNÍ ANALÝZA TĚŽKÝCH KOVŮ A OSTATNÍCH PRVKŮ	26
ANALÝZA METODOU PMF	30
SHRNUTÍ A ZÁVĚR	34
PODĚKOVÁNÍ	35
SEZNAM ZKRATEK	36
PŘÍLOHY	37
PŘÍLOHA 1. EMISE KADMIA V OKRESE JABLONEC NAD NISOU	37
PŘÍLOHA 2. SPOTŘEBY KADMIA V PRESIOSA ORNELA, A. S.	41
PŘÍLOHA 3. PRVKY POUŽÍVANÉ K BARVENÍ SKLA	42
PŘÍLOHA 4. PODROBNÉ VÝSLEDKY TĚŽKÝCH KOVŮ S IMISNÍM LIMITEM - LETNÍ KAMPAŇ	43
PŘÍLOHA 5. PODROBNÉ VÝSLEDKY TĚŽKÝCH KOVŮ S IMISNÍM LIMITEM - ZIMNÍ KAMPAŇ	45
PŘÍLOHA 6. VÝSLEDKY PMF	47
PŘÍLOHA 7. FOTODOKUMENTACE	59
PŘÍLOHA 8. FINANČNÍ NÁKLADY NA KAMPAŇ	67

Revize dokumentu:

Číslo revize	Datum revize	Změna	Provedl
1	1. 6. 2017	<ul style="list-style-type: none">• Doplněno ev. číslo technického dokumentu ČHMÚ• Obr. 3 - oprava koncentrace na stanici Tanvald-školka v r. 2016• Jazykové a formátovací úpravy	Ondřej Vlček

Úvod

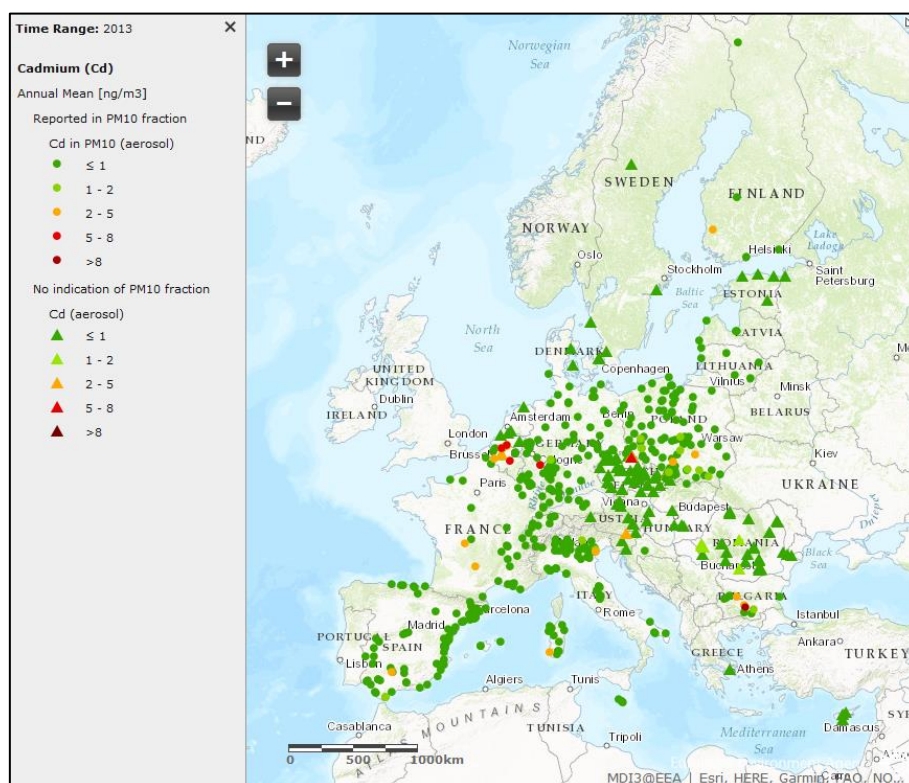
Mikroregion Tanvaldsko je dobrovolný svazek obcí v okrese Jablonec nad Nisou a okrese Semily, jeho sídlem je Tanvald a jeho cílem je vzájemná spolupráce a koordinace činností v oblasti rozvoje regionu. Sdružuje celkem 11 obcí a byl založen v roce 2000.

První historicky doložená zmínka o sklářské huti je již z roku 1376. Sklářství se dále rozrůstalo hlavně v 17. a 18. století. V 19. a 20. století byla oblast Tanvaldska právem považována za jednu z nejprůmyslovějších oblastí republiky. Rozvíjel se zde hlavně sklářský a textilní průmysl, pozadu nebylo ani strojírenství. V současné době dominuje v oblasti sklářský průmysl.

Rozvoj průmyslu měl za následek i nárůst koncentrací některých škodlivých látek ve venkovním ovzduší. Jedním z těžkých kovů, jehož množství ve venkovním ovzduší je sledováno, je kadmium. Koncentrace kadmia ve venkovním ovzduší má imisní limit pro průměrnou roční koncentraci $5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Výsledky měření kadmia v Tanvaldu jsou znepokojivé, protože jejich hodnoty překračují hodnoty ročního imisního limitu. V některých dnech dochází k výraznému nárůstu koncentrace kadmia, aniž by došlo k nárůstu koncentrací dalších znečišťujících látek.

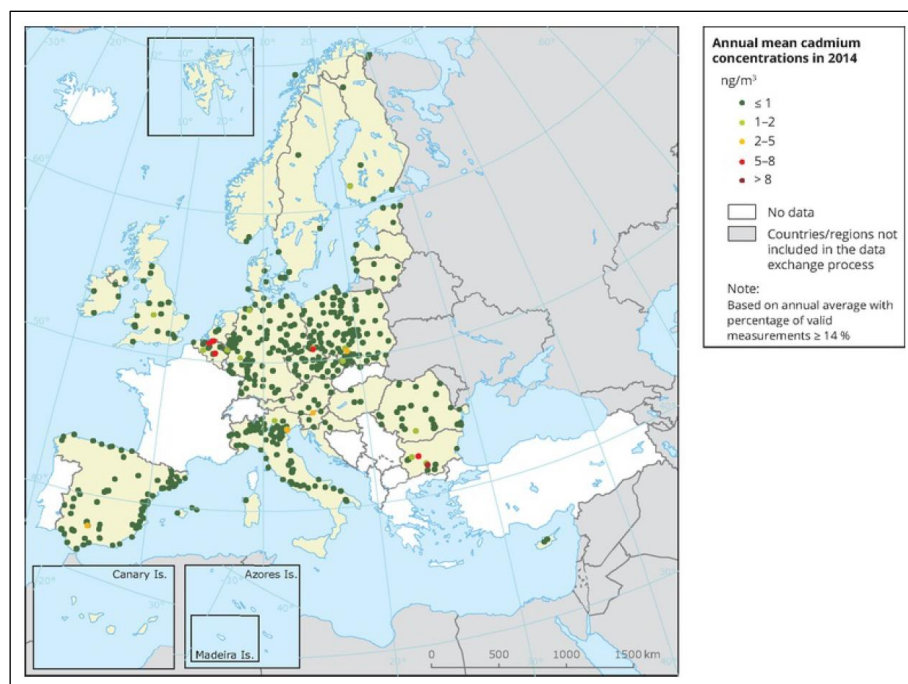
Nadlimitní hodnoty ročních průměrných koncentrací kadmia se promítají i do map znečištění ovzduší Evropské agentury pro životní prostředí (EEA) (Obr. 1 a Obr. 2) přičemž nikde v blízkém okolí se tak vysoké koncentrace kadmia nevyskytují.

ČHMÚ se proto rozhodl pro podrobné zmapování koncentrací kadmia a ostatních těžkých kovů na území obcí Tanvald a Desná v rámci interního projektu. Cílem projektu bylo i poukázat na možné zdroje kadmia v oblasti. Výsledky budou využity i pro tvorbu map kadmia v rámci ročního hodnocení kvality ovzduší. Měřicí kampaň byla financována z prostředků ČHMÚ a částečně také Libereckého kraje (viz Příloha 8).



Odkaz na mapu: <http://discomap.eea.europa.eu/map/EEABasicviewer/?appid=a05686b2c2454a858eff5617156e0237>

Obr. 1 Mapa průměrných ročních koncentrací kadmia v Evropě v roce 2013 (data EEA).



Obr. 2 Mapa průměrných ročních koncentrací kadmia v Evropě v roce 2014 (data EEA).

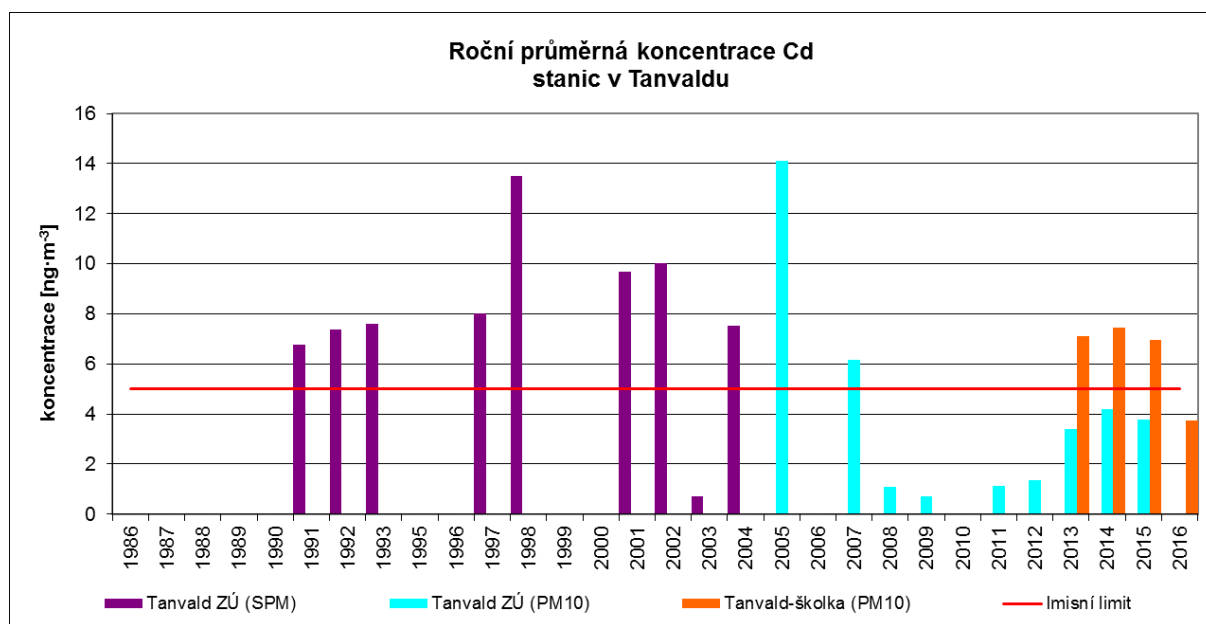
Historie měření kadmia na Tanvaldsku

Měření koncentrací kadmia a jiných těžkých kovů ve venkovním ovzduší prováděly ve sledované oblasti jak laboratoře Zdravotního ústavu Ústí nad Labem, tak ČHMÚ. Měření je v databázi ISKO registrováno od roku 1986. Roční průměrné koncentrace těchto měření jsou uvedeny na Obr. 3 – Obr. 5. Je nutné dodat, že u řady starších ročních průměrných koncentrací jsou hodnoty dopočítané z řad, kde je nižší výtěžnost dat, než je podmínka pro daný výpočet. Některé historické hodnoty je třeba brát jako indikativní, nicméně jsou rozloženy po období celého roku a pro představu o zatížení sledované oblasti kadmiiem a jeho sloučeninami jsou dostatečné. V Tab. 1 jsou pro úplnost uvedeny průměrné roční koncentrace těžkých kovů na stanicích ČHMÚ Jizerka, Souš a Tanvald-školka za období 2011–2016 včetně plnění imisních limitů (IL).

Tab. 1 Koncentrace těžkých kovů s imisním limitem na stanicích ČHMÚ v letech 2011–2016 (v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$).

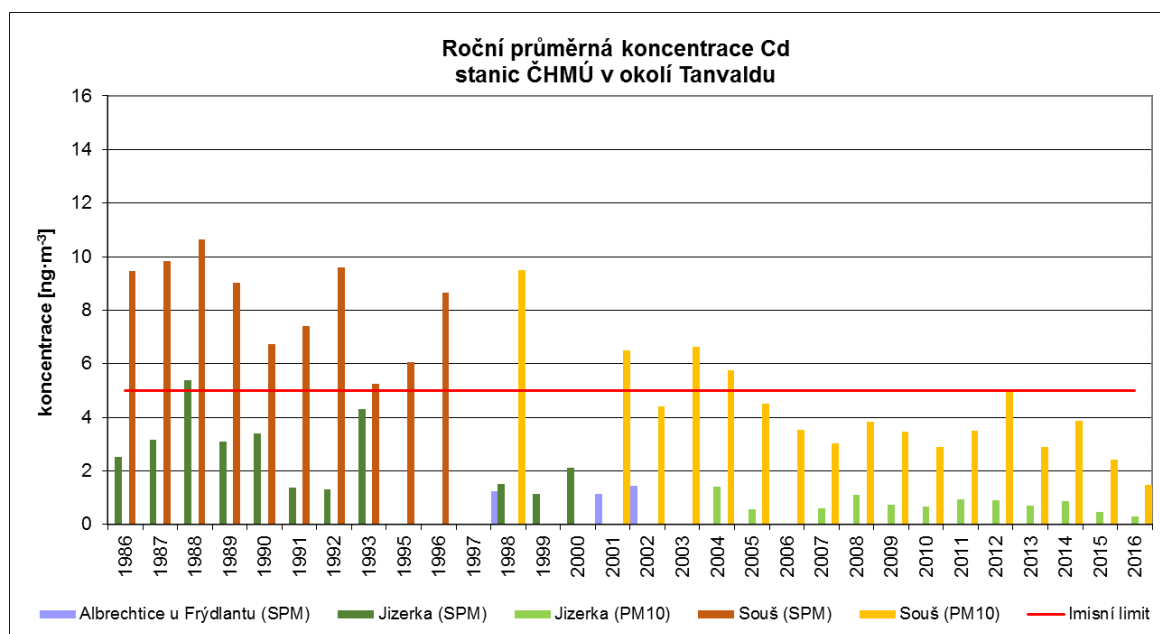
Roční IL [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$]	LSOU0				LJZO				LTASO			
	20	6	5	500	20	6	5	500	20	6	5	500
Rok / TK	Ni	As	Cd	Pb	Ni	As	Cd	Pb	Ni	As	Cd	Pb
2011	0,5	1,6	3,6	7,9	0,3	0,8	0,9	4,4	---	---	---	---
2012	0,6	1,2	4,9	7,1	0,3	0,8	0,9	3,7	---	---	---	---
2013	0,3	1,1	2,9	6,3	0,4	1,0	0,7	4,9	0,6	3,2	7,0	16,4
2014	0,3	1,2	3,9	5,9	0,2	0,9	0,9	4,3	0,6	4,3	7,6	14,7
2015	0,3	1,2	2,3	5,0	0,3	0,9	0,4	3,8	0,6	4,2	6,9	12,4
2016	0,2	0,9	1,2	4,6	0,2	0,6	0,2	3,1	0,4	3,7	3,7	13,9

Pozn.: červeně je zvýrazněno překročení imisního limitu. Kurzívou a šedou barvou písma hodnoty, kdy nebyl splněn požadavek na minimální počet dat pro výpočet ročního průměru.



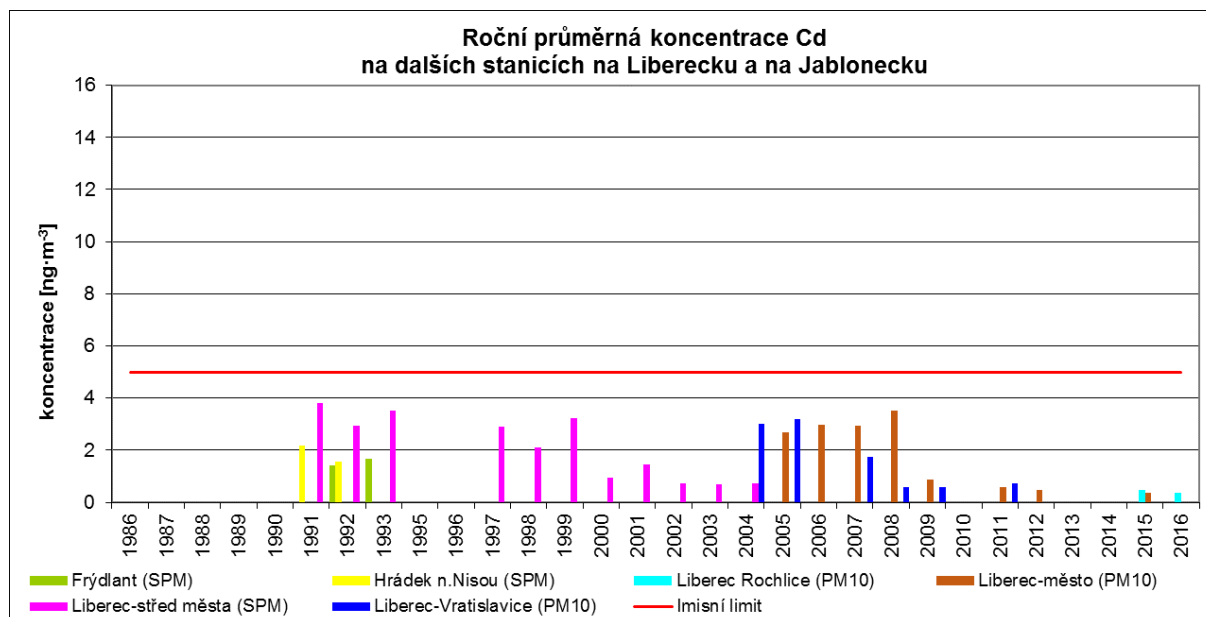
Pozn.: Stanice Tanvald měřila v letech 1991–2015. Stanice Tanvald-školka měří od listopadu 2012. PM₁₀, resp. SPM značí, že těžké kovy byly analyzovány v aerosolu frakce PM₁₀, resp. celkovém (velikostně nerozlišeném) aerosolu.

Obr. 3 Roční průměrné koncentrace kadmia na stanicích v Tanvaldu v letech 1986–2016.



Pozn.: PM₁₀, resp. SPM značí, že těžké kovy byly analyzovány v aerosolu frakce PM₁₀, resp. celkovém aerosolu.

Obr. 4 Roční průměrné koncentrace kadmia na stanicích v okolí Tanvaldu a na hranici s Polskem v letech 1986–2016.



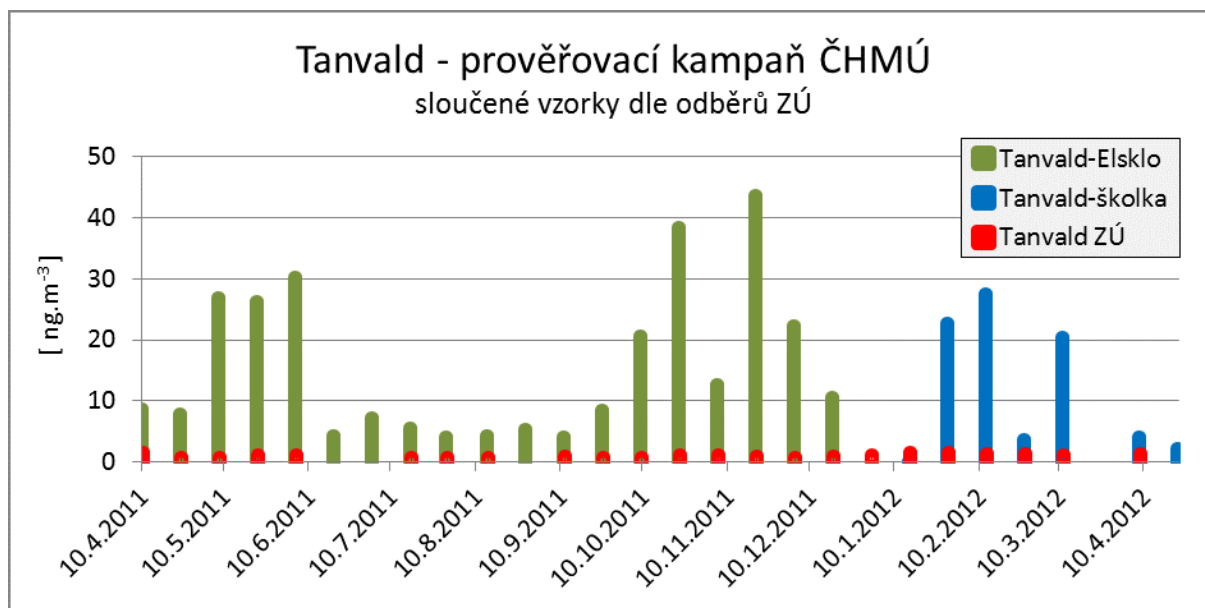
Pozn.: PM₁₀, resp. SPM značí, že těžké kovy byly analyzovány v aerosolu frakce PM₁₀, resp. celkovém aerosolu.

Obr. 5 Roční průměrné koncentrace kadmia na stanicích na Liberecku a Jablonecku v letech 1986–2016.

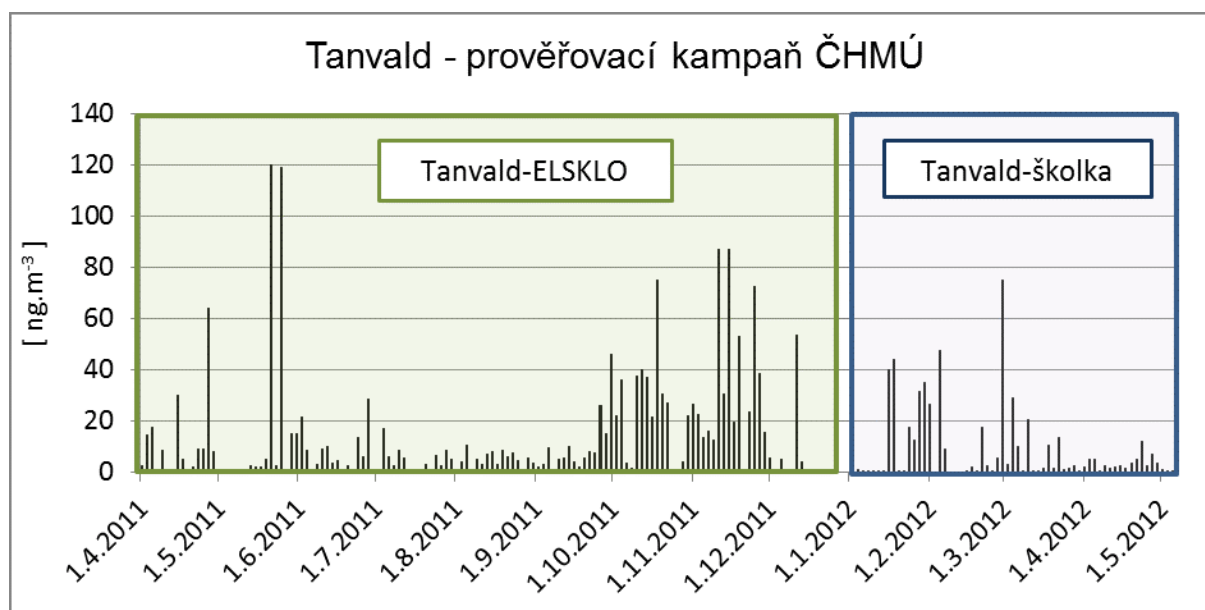
Podnět k založení stacionární stanice ČHMÚ Tanvald-školka.

Sledování koncentrací kadmia ve venkovním ovzduší v Tanvaldu zajišťoval od roku 1991 Zdravotní ústav Liberec (následně se ZÚ Ústí nad Labem) na stanici umístěné ve dvoře provozu Vodovodů a kanalizací. Průměrná roční koncentrace se pohybovala mezi 6–14 ng·m⁻³ (Obr. 3) přičemž obdobné koncentrace byly naměřeny i na stanici Souš (Obr. 4). V roce 2008 však na stanici Tanvald došlo k výraznému poklesu hodnot a měřené koncentrace zůstávaly nízké i v dalších letech. Na stanici Souš se však podobný pokles neprojevil. ČHMÚ proto situaci prověřil vlastními kampaňovými měřeními v lokalitě Tanvald-Elsko (Žďár 165, Tanvald). Po zjištění vysokých koncentrací kadmia v této lokalitě bylo ještě provedeno měření u školky v sousedství radnice v Tanvaldu, kde byly vysoké koncentrace potvrzeny. Na základě rozhodnutí rozšířené porady vedení OČO ČHMÚ byl proto přemístěn vzorkovač PM₁₀ z Rýchor do Tanvaldu a od 1. 11. 2012 zde započalo pravidelné měření kadmia a dalších těžkých kovů v rámci Státní sítě imisního monitoringu. Zároveň byla od roku 2012 postupně zajištěna větší spolupráce se ZÚ v Liberci (následně se ZÚ Ústí nad Labem) při řešení problematiky odběru a stanovení těžkých kovů.

Na Obr. 6 a Obr. 7 jsou znázorněny hodnoty kadmia naměřené v rámci prověřovací kampaně na stanicích Tanvald-Elsko a Tanvald-školka a stanici ZÚ Tanvald. Na denních průměrech je zajímavé, že i když jsou v chladné části roku měřeny v průměru vyšší koncentrace, případy, kdy denní průměrná koncentrace kadmia dosahovala hodnot kolem 80 ng·m⁻³ i výše, a nebyla přitom provázána nárůstem koncentrací dalších těžkých kovů či jiných sledovaných škodlivých látek se vyskytují v chladné i teplé části roku.



Obr. 6 Průměrné 14denní koncentrace kadmia na stanicích ZÚ a ČHMÚ od dubna 2011 do dubna 2012. 14denní průměry měření ČHMÚ odpovídají 14denním odběrům ZÚ.



Obr. 7 Průměrné denní koncentrace kadmia na stanicích ČHMÚ v letech 2011 a 2012.

Zdroje emisí kadmia v okrese Jablonec nad Nisou

Příloha 1 uvádí individuálně sledované i plošné (vytápění) zdroje kadmia v okrese Jablonec nad Nisou. Jak vyplývá z Tab. 10 nejvýznamnějšími individuálně sledovanými stacionárními zdroji kadmia v okrese Jablonec nad Nisou byly v roce 2014 závody PRECIOSA ORNELA, a. s., závod Desná a Polubný a závod Příchovice zabývající se výrobou skla. Emise kadmia z těchto zdrojů v tomto roce o dva řády přesahovaly emise z lokálního vytápění (Tab. 12, Příloha 1). V roce 2015 došlo k poklesu vykázaných emisí kadmia z těchto závodů (Tab. 11, Příloha 1), přesto zůstávají jedním z nejvýznamnějších zdrojů kadmia (a nejvýznamnějšími zdroji v Tanvaldu a Desné) a stále o řád převyšují emise z kadmia z lokálního vytápění.

Na Obr. 27 (Příloha 1) jsou uvedeny vykázané emise kadmia ze závodů PRECIOSA ORNELA, a. s. v Desné v letech 2001–2016. K výraznému poklesu emisí došlo mezi lety 2001 a 2002 a 2006 a 2007. V následujících letech se vykázané emise pohybovaly na úrovni jednotek kilogramů a v roce 2015 klesly pod 1 kg a v roce 2015 naopak vzrostly na 15,8 kg. Je třeba poznamenat, že tyto meziroční výkyvy v emisích ohlášených provozovatelem do souhrnné provozní evidence (sklářské provozy) nemusí odpovídat reálným změnám v ročních emisích, ale mohou být způsobeny aktuálními výrobními podmínkami při provádění periodických jednorázových emisních měření.

Ve společnosti PRECIOSA ORNELA, a. s. je kadmium (sírník kademnatý CdS a oxid kademnatý CdO) používáno k barvení skla. Pro období měřicích kampaní byly Ing. Vojtíškem z technického úseku - ekologie PRECIOSA ORNELA, a. s. poskytnuty údaje o denních spotřebách obou látek. Během letní kampaně byl používán pouze CdS a jeho spotřeba se pohybovala mezi 80 a 120 % průměru za dané období. Spotřeba kadmia během zimní kampaně byla výrazně proměnlivější, pohybovala se mezi 10 a 170 % průměru, a byla přibližně dvojnásobná v pracovní dny, než o víkendy a období mezi vánočními svátky a novým rokem (Příloha 2).

Popis měřicích kampaní

Cílem bylo proměřit koncentrace těžkých kovů ve větší vzdálenosti od stanice Tanvald-školka. Většina nových lokalit (viz níže) byla umístěna do údolí, které se táhne od Smržovky po Desnou, kde se dělí na polubenskou část (osazena stanicemi Souš a Jizerka) a na část příchovickou.

Měřicí kampaň probíhala ve dvou etapách: v letním období roku 2016 od 1. 7. do 12. 8. (netopná sezóna) a v zimě 2016/2017 od 30. 11. do 9. 1. (topné období). Kromě stálých stanic Státní sítě imisního monitoringu (SSIM) Tanvald-školka (LTAS), Souš (LSOU) a Jizerka (LJIZ) se manuální odběry vzorkovači Leckel SEQ chlazený prováděly na třech dalších lokalitách Desná-SÚS, Tanvald-Elsklo a Tanvald-Popelnice (Tab. 2 a Obr. 8 a Obr. 9). Manuální odběry byly prováděny každý druhý den podle svozového kalendáře imisního monitoringu ČHMÚ. V odebraných vzorcích byla gravimetricky stanovena koncentrace aerosolu frakce PM₁₀ a dále provedena analýza těžkých kovů a dalších prvků hmotnostní spektrometrií (ICP-MS). Na lokalitách Desná-SÚS a Tanvald-Bálovka probíhalo zároveň měření meteorologie a koncentrací oxidů dusíku, PM₁₀ a oxidu siřičitého¹ měřicími vozy ČHMÚ. Na lokalitě Tanvald-Elsklo byl nainstalován meteorologický stožár k měření rychlosti a směru větru.

Vzorky pro analýzy tzv. těžkých kovů i dalších prvků byly odebrány v souladu s normou ČSN EN 12341 pro odběr a gravimetrické stanovení aerosolových částic (dříve označovaných jako poléťavý prach). Gravimetrické stanovení bylo provedeno v Praze v Centrální laboratoři imisí (CLI) Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), stejně jako následné chemické stanovení koncentrací těžkých kovů metodou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou. To bylo provedeno podle normy ČSN EN ISO 14902.

CLI je součástí Státní sítě imisního monitoringu (SSIM), který je podle normy ČSN EN ISO/IEC 17025 akreditovaná laboratoř č. 1460 u Českého institutu pro akreditaci (ČIA) pro zkoušky a odběry uvedené v osvědčení o akreditaci. Kvalita odběrů a analýz vzorků je zajištěna v rámci akreditace vyškolenými pracovníky SSIM, kteří mají k dispozici schválené akreditované interní předpisy, standardní operační postupy, návody i Příručku kvality a Metrologický řád. Podle těchto předpisů provádějí kontroly, kalibrace, metrologické navazování čidel, měřidel, vzorkovačů analyzátorů a všechny akreditované činnosti.

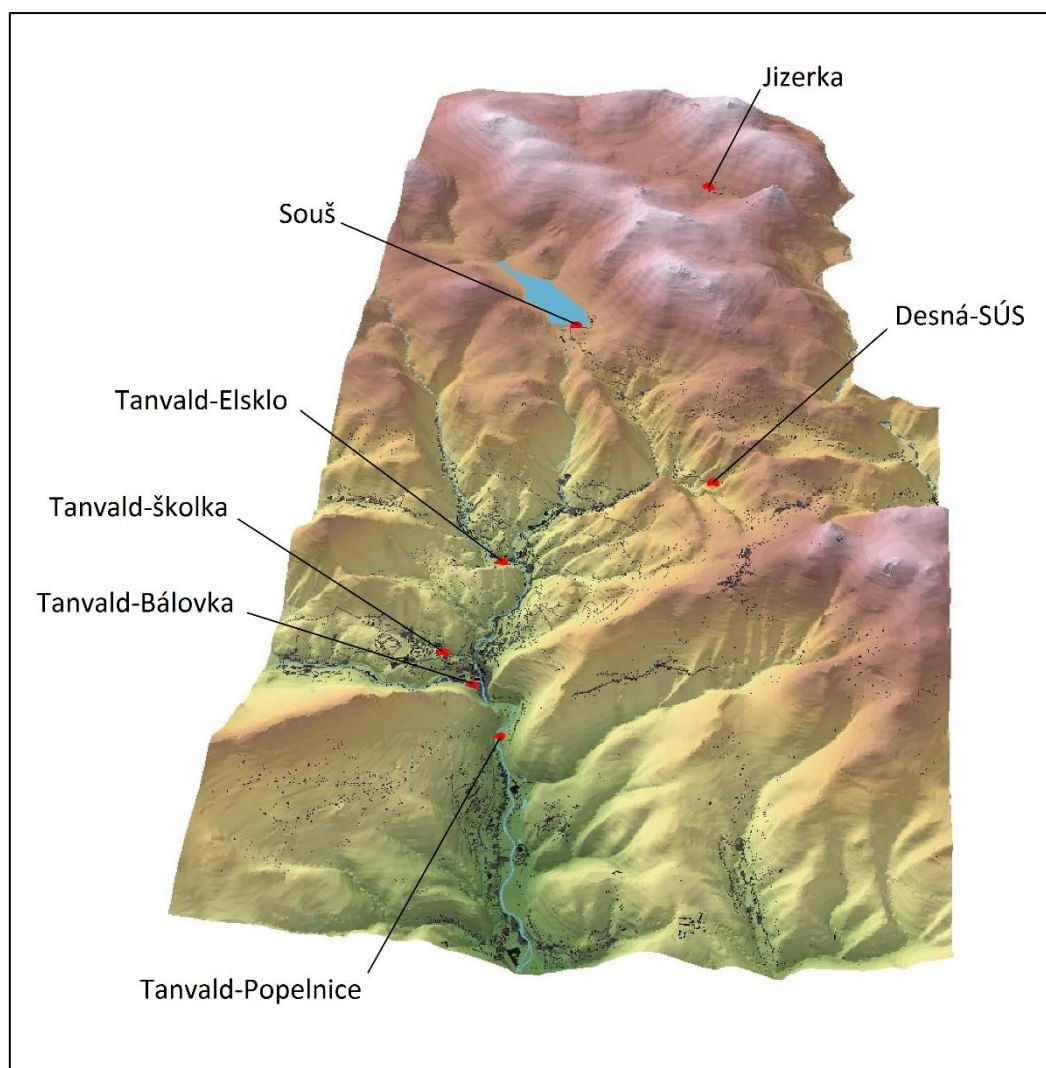
¹ Koncentrace SO₂ se během letní měřicí kampaně pohybovaly na mezi detekce, proto nejsou v naměřených datech uvedeny.

Všechna naměřená data jsou na elektronickém nosiči přiložena k této zprávě.

- Soubor **Tanvald_kampan_Cd_let-2016_GRV+ICP-MS_v2016-10-31.xls** obsahuje výsledky gravimetrie a hmotnostní spektroskopie pro letní kampaň.
- Soubor **Tanvald_kampan_Cd_let-2016_meteo+AIM.xlsx** obsahuje meteorologická data a doplňková měření koncentrací NO, NO₂, NO_x a PM₁₀ pro letní kampaň. SO₂ se pohybovalo na mezi detekce, proto není uvedeno.
- Soubor **Tanvald_kampan_Cd_zima-2016-2017_GRV+ICP-MS_v2016-03-01.xls** obsahuje výsledky gravimetrie a hmotnostní spektroskopie pro zimní kampaň.
- Soubor **Tanvald_kampan_Cd_zima-2016-2017_meteo+AIM.xlsx** obsahuje meteorologická data a doplňková měření koncentrací NO, NO₂, NO_x, PM₁₀ a SO₂ pro zimní kampaň.
- Soubor **Tanvald_kampan_Cd_data_pro_PMF_2015-01-01_2017-01-09_v8.xls** obsahuje vstupní data pro analýzu metodou PMF (viz kapitola *Analýza metodou PMF*).



Obr. 8 Mapa měřících lokalit.



Obr. 9 Mapa měřících lokalit se zvýrazněnou orografií.

Tab. 2 Měřicí lokality.

Název lokality	Poznámka	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Nadmořská výška [m] ISKO	Nadm. výška terénu [m] vše z MAPY.CZ	Měřené veličiny		
						Meteorologie	Manuální odběry pro GRV a ICP-MS*	Doprovodné veličiny
Jizerka	SSIM manuální odběr	50°49'11,834"N	hod	830	857	---	ano	---
Souš	SSIM AIM (meteo) a manuální odběr	50°47'22,726"N	15°19'10,859"E	771	766	WD, WS, T2m, h, GLRD	ano	---
Desná-SÚS	kampaňové měření u areálu Správy údržby silnic	50°45'46,735"N	15°20'48,393"E		654	WD, WS, T2m, h	ano	NO, NO ₂ , NO _x , PM ₁₀ , SO ₂
Tanvald-Elsklo**	kampaňové měření	50°45'14,081"N	15°18'38,308"E		498	WD, WS	ano	---
Tanvald-školka	SSIM manuální odběr	50°44'18,472"N	15°18'10,462"E	510	506	---	ano	---
Tanvald- Popelnice	kampaňové měření v areálu MVE Popelnice	50°43'41,371"N	15°18'48,659"E		429	---	ano	---
Tanvald-Bálovka	kampaňové měření u autoservisu u kruhového objezdu	50°44'6,038"N	15°18'30,081"E		459	WD, WS, T2m, h	---	NO, NO ₂ , NO _x , PM ₁₀ , SO ₂

* Odběr přístrojem Leckel SEQ LVS chlazený. 24hodinové odběry (6–6 UTC) se prováděly každý druhý den podle odběrového kalendáře imisního monitoringu ČHMÚ.

** Na lokalitě Tanvald-Elsklo byly kromě 24hodinových manuálních odběrů prováděny také 12hodinové odběry (12–24 UTC) a to ve stejné dny, jako 24hodinové odběry.

Pozn.: WD a WS je směr a rychlost větru, T2m teplota vzduchu ve dvou metrech nad zemí, h relativní vlhkost a GLRD sluneční záření.

Výsledky

Výsledky - léto

Naměřené hodnoty

Letní kampaň se konala od 1. 7. do 12. 8. 2016 (celkem 22 odběrových dnů). V jejím průběhu přesahovaly naměřené *průměrné denní* koncentrace těžkých kovů *roční IL* pouze u kadmia a to jen na stanicích v Tanvaldu (Elsklo, školka, Popelnice). Maximální koncentrace kadmia byly v naprosté většině případů zjištěny při 24hodinových odběrech (od 8 do 8 h občanského času) na stanici Tanvald-Elsklo. Koncentrace měřené při 12hodinových odběrech (od 14 do 2 h občanského času) na téže lokalitě byly v průměru o 62 % nižší. Nejvyšší průměrná koncentrace kadmia za letní kampaň byla naměřena na stanici Tanvald-Elsklo 24h (9,5 ng.m⁻³) a dále na stanicích Tanvald-Popelnice (3,8 ng.m⁻³), Tanvald-Elsklo 12h (3,5 ng.m⁻³), Tanvald-školka (3,0 ng.m⁻³), Desná-SÚS (1,1 ng.m⁻³), Souš (0,6 ng.m⁻³) a Jizerka (0,1 ng.m⁻³). Nejvyšší koncentrace kadmia během jednoho odběru pak byla naměřena 17. 7. 2016 na stanici Tanvald-Elsklo 24h (21,3 ng.m⁻³). Na stanici Tanvald-školka byla nejvyšší koncentrace kadmia (11,9 ng.m⁻³) naměřena dne 2. 8. 2016. Podrobné tabelární výsledky pro těžké kovy s imisním limitem jsou uvedeny v Tab. 14 a Tab. 15 (Příloha 4).

Podobnost průběhu Cd a PM₁₀

Naměřené hodnoty kadmia a PM₁₀ jsou zobrazeny v grafech na Obr. 10 a Obr. 11. Z obrázků je zřejmé, že vysokým koncentracím kadmia neodpovídá obdobný nárůst koncentrací PM₁₀. To dokazují i korelace naměřených koncentrací Cd a PM₁₀ mezi jednotlivými stanicemi, kdy nebyla na žádné stanici prokázána těsnější vazba než 0,46 (Obr. 12).

Podobnost průběhu Cd mezi stanicemi

Vyjádřeno Pearsonovým korelačním koeficientem vykazují největší podobnost (korelace $\geq 0,6$) časové průběhy koncentrací kadmia na stanicích Tanvald-Elsklo (24h i 12h) a Tanvald-Popelnice (0,75, resp. 0,6), Jizerka a Desná-SÚS (0,74), Jizerka a Souš (0,72) a Desná-SÚS a Souš (0,65).

Vazba průběhu Cd na jeho spotřebu v PRECIOSA ORNELA

Zároveň byla zkoumána i korelace mezi naměřenými koncentracemi kadmia a jeho spotřebou v PRECIOSA ORNELA, a. s. Protože denní odběry probíhaly od 8 h do 8 h následujícího dne, byla korelována jak spotřeba v den odpovídající počátku odběru, tak v den odpovídající jeho konci. Korelace mezi koncentracemi kadmia a jeho spotřebou je ve všech případech záporná a velmi slabá (mezi -0,03 a -0,22). Vezmeme-li spotřebu ze dne odpovídajícího konci odběru, objeví se kladné korelace na Jizerka, Desná-SÚS a Souš. Žádná ale nepřesáhla 0,37 (Obr. 13).

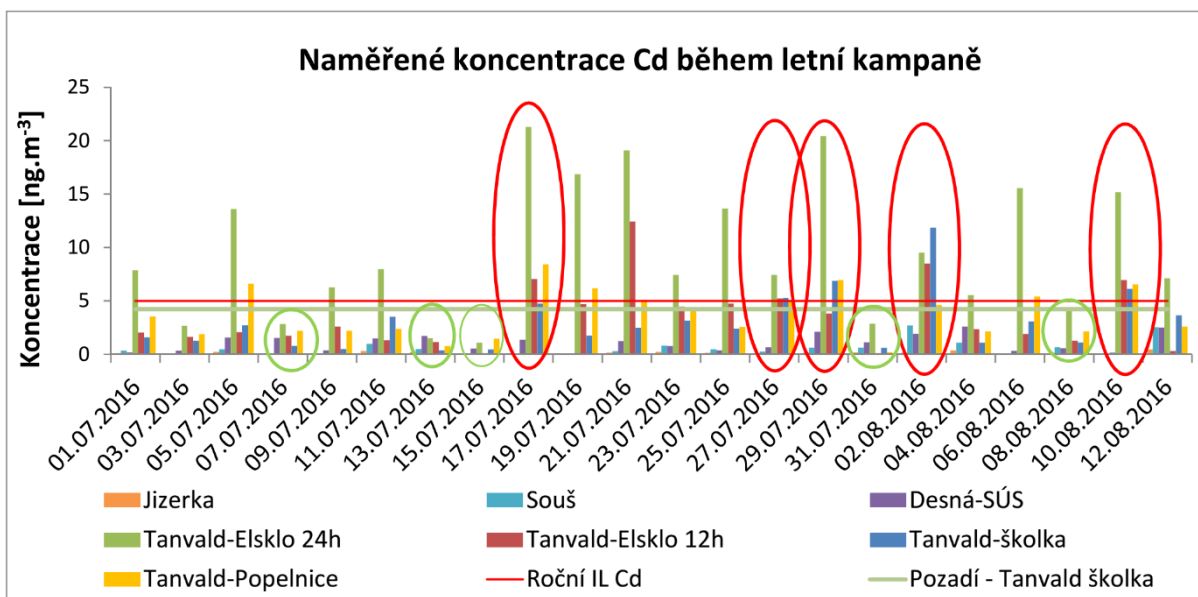
Analýza povětrnostní situace

Analýza povětrnostní situace byla provedena zvláště pro dny s vysokou a nízkou koncentrací kadmia na stanici Tanvald-školka. Kritériem pro výběr dnů s vysokou koncentrací bylo překročení 5leté požadové koncentrace² za roky 2011–2015 (4,23 ng.m⁻³) na této stanici. Konkrétně byly vybrány následující dny: 17., 27. a 29. červenec a 2. a 10. srpen. Kritériem pro výběr dnů s nízkou koncentrací byly celkové nejnižší naměřené koncentrace v daný den. Konkrétně byly vybrány následující dny: 7., 13., 15. a 31. červenec a 8. srpen.

Větrné růžice pro sloučené dny s vysokou, resp. nízkou naměřenou koncentrací kadmia jsou vykresleny na Obr. 14. Protože na stanici Tanvald-školka nebylo měření meteorologie k dispozici, byly vybrány stanice Tanvald-Bálovka, ležící nejbližší stanici Tanvald-školka, a Tanvald-Elsklo, ležící nejbližší továrně PRECIOSA ORNELA v Desné. Z větrných růžic bylo zjištěno, že při naměřených nízkých koncentracích kadmia foukal silnější vítr, proti dnům s vysokými koncentracemi. Tento fakt je nicméně všeobecně

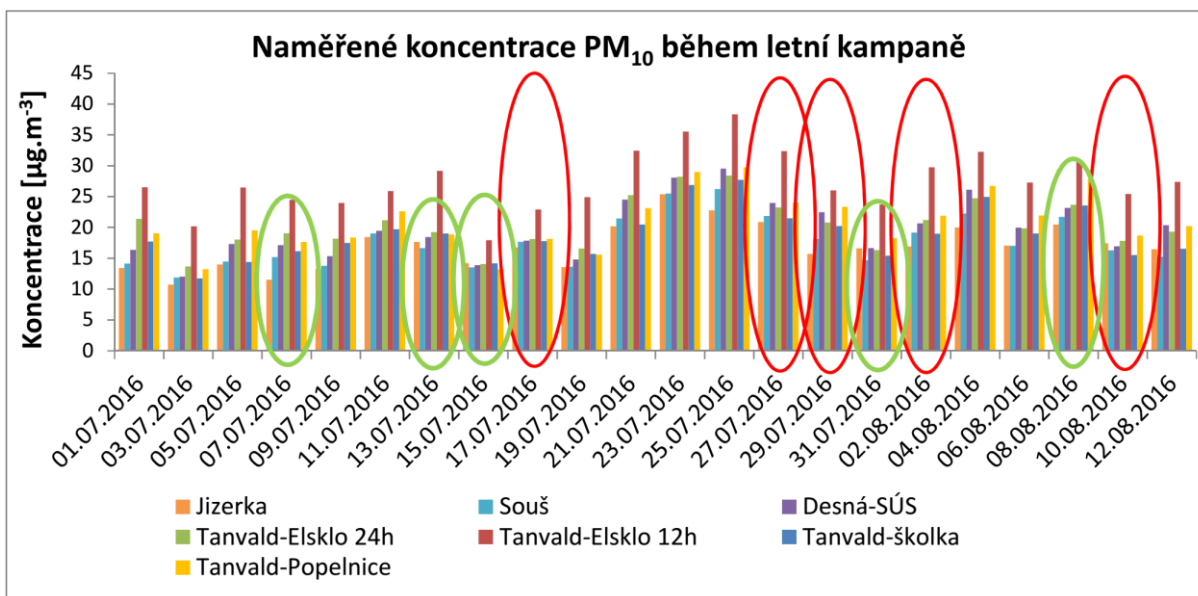
² Dle map klouzavých 5letých průměrných koncentrací http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/ozko/ozko_CZ.html

platný, protože při vyšších rychlostech větru se lokalita provětrává a znečišťující látky se tak mají větší šanci rozptýlit a tím snížit celkovou koncentraci. Rozdíly v zastoupení směrů byly zanedbatelné.



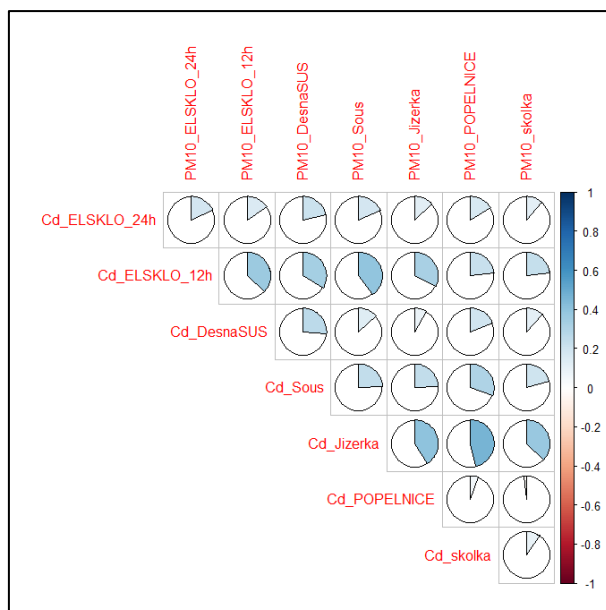
Pozn.: Roční IL Cd ... roční imisní limit kadmia. Pozadí - Tanvald školka ... hodnota v příslušném čtverci mapy 5leté průměrné koncentrace kadmia za období 2011–2015 (http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/ozko/ozko_CZ.html), ve kterém leží stanice Tanvald-školka. Červeně jsou zakroužkované dny s vysokou a zeleně s nízkou koncentrací kadmia na stanici Tanvald-školka.

Obr. 10 Graf koncentrací kadmia - letní kampaň.

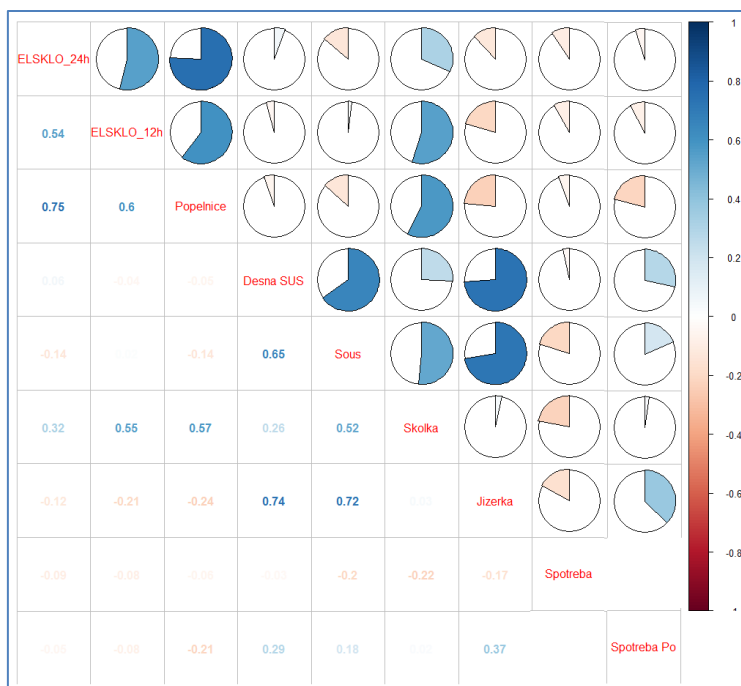


Pozn.: Červeně jsou zakroužkované dny s vysokou a zeleně s nízkou koncentrací kadmia na stanici Tanvald-školka.

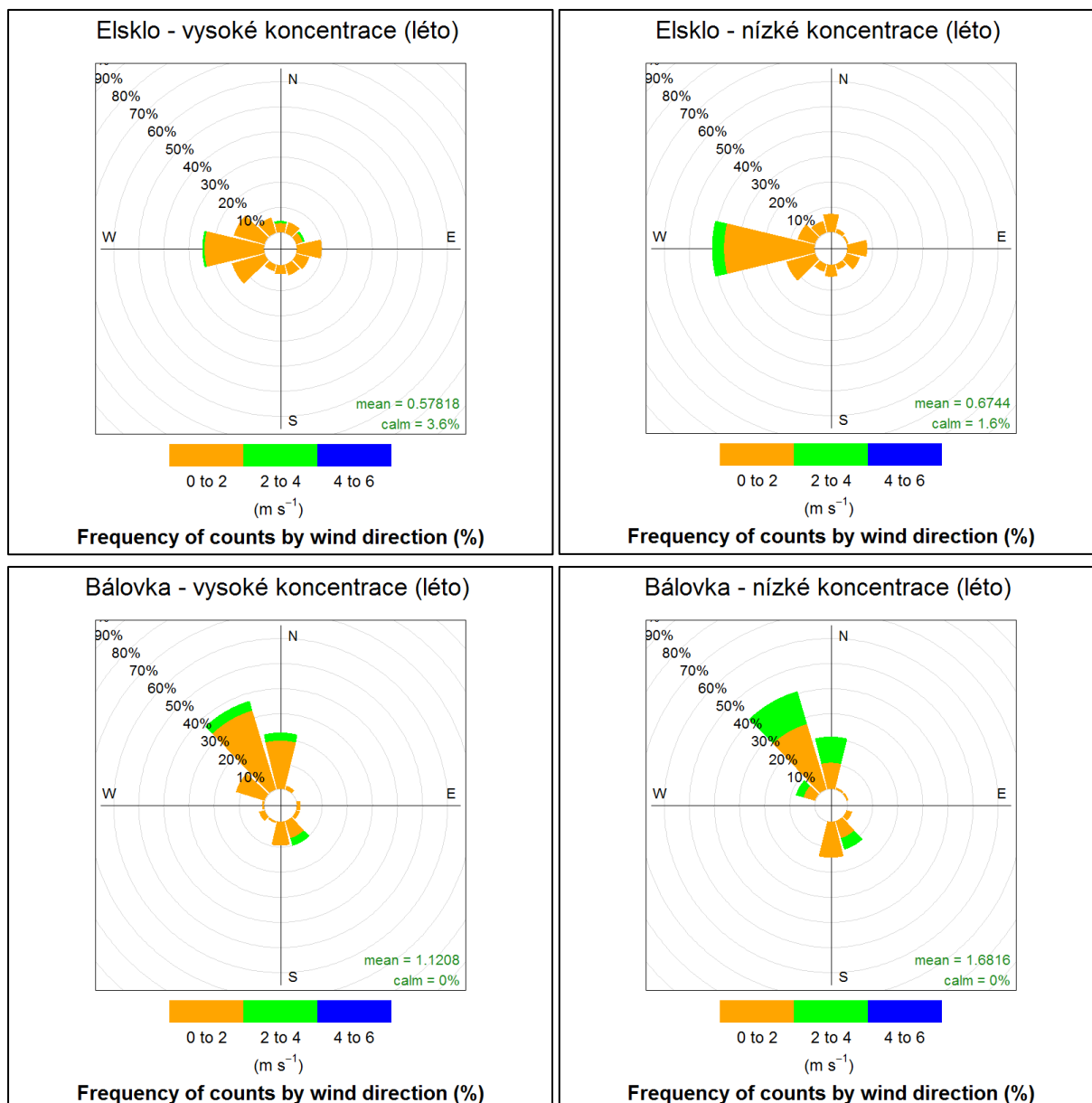
Obr. 11 Graf koncentrací PM₁₀ - letní kampaň.



Obr. 12 Pearsonův korelační koeficient mezi naměřenými koncentracemi Cd a PM₁₀ na jednotlivých stanicích - letní kampaň.

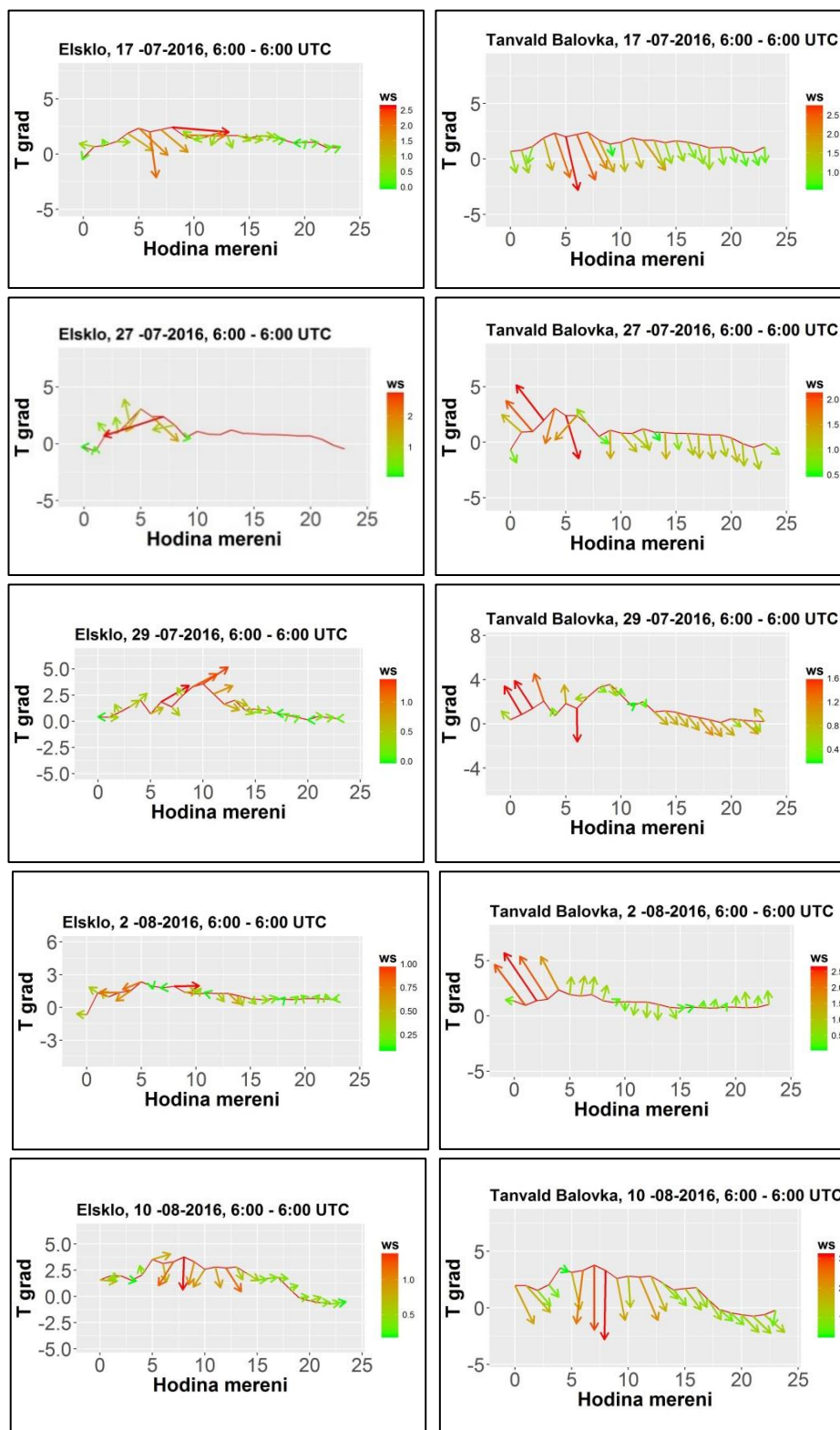


Obr. 13 Pearsonův korelační koeficient mezi naměřenými koncentracemi Cd na jednotlivých stanicích a spotřebou kadmia v PERCIOSA ORNELA, a. s. v den počátku odběru (Spotřeba) a v den konce odběru (Spotřeba Po) - letní kampaň.



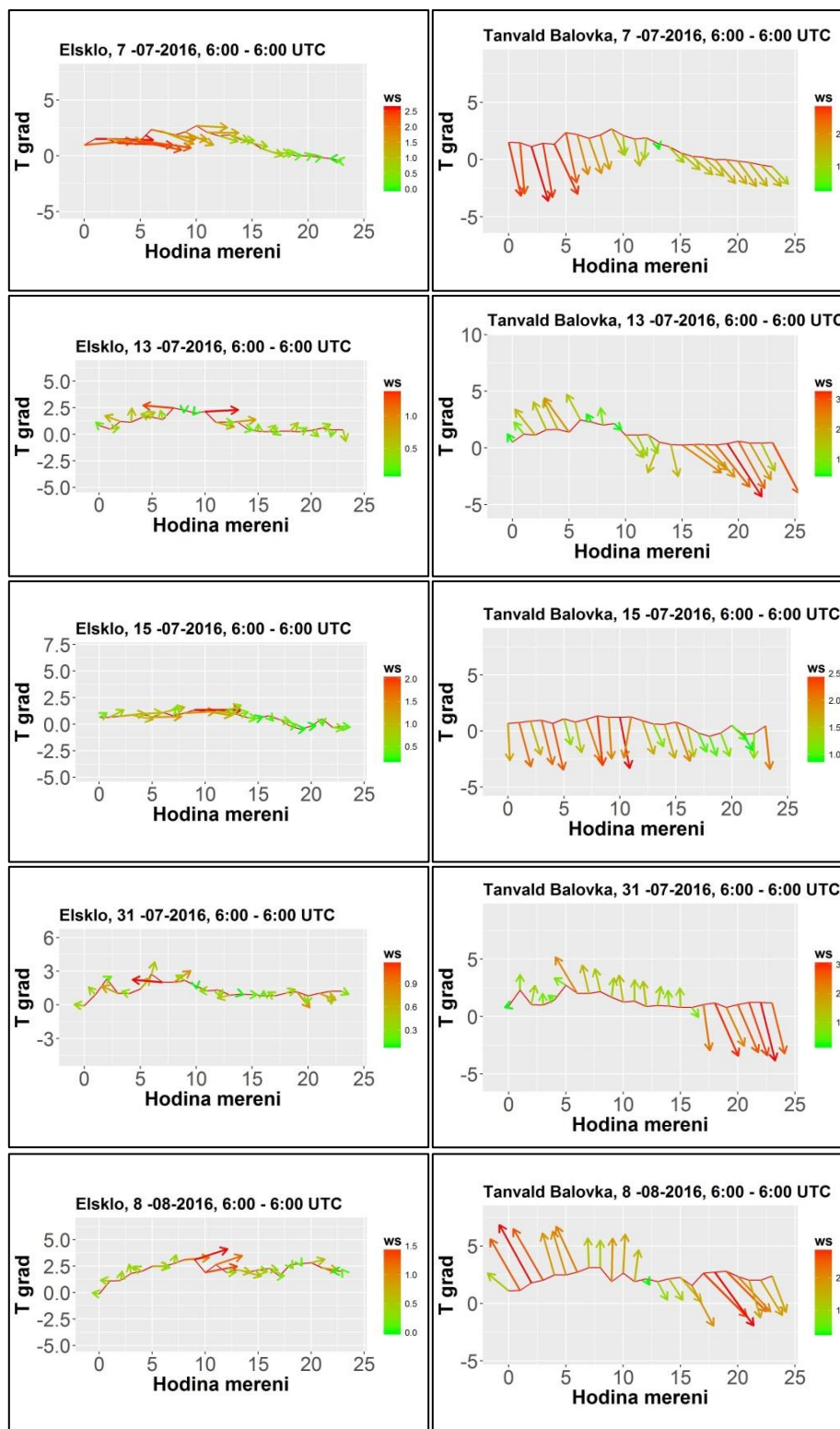
Obr. 14 Větrné růžice ze dnů, kdy byly naměřeny nejvyšší a nejnižší koncentrace kadmia - letní kampaň.

Detailní analýza stability atmosféry a směrů a rychlostí větru po hodinách je pro letní období znázorněna na Obr. 15 a Obr. 16. Tato analýza měla ověřit, zda ve dnech s vysokými koncentracemi kadmia převládá severní až severovýchodní (S–SV) vítr na stanicích Tanvald-Elsklo a Tanvald-Bálovka. Pokud by tyto směry převládaly, tak by to podpořilo hypotézu, že znečištění kadmium pochází z továrny PRECIOZA ORNELA. S–SV směry se vyskytují na obou stanicích, většinou se však jedná o několik hodin a nemůžeme mluvit o převládajících větrech. Ve dnech s nízkou koncentrací se vyskytují S–SV směry na stanici Tanvald-Elsklo méně. Při hodnocení musíme brát v potaz, že v okolí stanic je velmi složitá orografie, která významně ovlivňuje stáčení větru. Navíc může být příspěvek k průměrné denní koncentraci způsoben výraznou krátkodobou špičkou a pravděpodobně není rovnoměrně rozdělen po dobu celého odběru. Jelikož mají stanice od sebe malou vzdálenost, tak přenos znečištění může trvat do jedné hodiny. Teplotní gradient ukazuje většinou normální až konvektivní teplotní zvrstvení, které podporuje větší vertikální rozptyl znečišťujících látek.



Obr. 15 Stabilita a vítr na lokalitách Tanvald-Elsklo a Tanvald-Bálovka ve dnech s vysokými koncentracemi kadmia - letní kampaň.

Pozn.: Časové rozpětí od 6:00 do 6:00 UTC odpovídá manuálnímu odběru vzorků. Hodina měření je pořadí hodiny během odběru, tzn. 0 odpovídá 6–7 UTC a 23 odpovídá 5–6 UTC následujícího dne. Stabilita atmosféry je vyjádřena výškovým teplotním gradientem definovaným jako $-dT/dz \cdot 100$, který byl počítán na základě rozdílu teplot mezi stanicemi Tanvald-Bálovka a Souš (výškový rozdíl 307 m). Hodnota $T_{grad} = 0,9$ odpovídá normálnímu poklesu teploty s výškou v suchém vzduchu. $T_{grad} > 0,9$ odpovídá konvektivnímu zvrstvení a $T_{grad} < 0$ inverznímu zvrstvení. Šipka směřující dolů (doprava) odpovídá severnímu (západnímu) proudění.



Obr. 16 Stabilita a vítr na lokalitách Tanvald-Elsklo a Tanvald-Bálovka ve dnech s nízkými koncentracemi kadmia - letní kampaň.

Pozn.: Časové rozpětí od 6:00 do 6:00 UTC odpovídá manuálnímu odběru vzorků. Hodina měření je pořadí hodiny během odběru, tzn. 0 odpovídá 6–7 UTC a 23 odpovídá 5–6 UTC následujícího dne. Stabilita atmosféry je vyjádřena výškovým teplotním gradientem definovaným jako $-dT/dz \cdot 100$, který byl počítán na základě rozdílu teplot mezi stanicemi Tanvald-Bálovka a Souš (výškový rozdíl 307 m). Hodnota $T_{grad} = 0,9$ odpovídá normálnímu poklesu teploty s výškou v suchém vzduchu. $T_{grad} > 0,9$ odpovídá konvektivnímu zvrstvení a $T_{grad} < 0$ inverznímu zvrstvení. Šipka směřující dolů (doprava) odpovídá severnímu (západnímu) proudění.

Výsledky - zima

Naměřené hodnoty

Zimní kampaň se konala od 30. 11. 2016 do 9. 1. 2017 (celkem 21 odběrových dnů). V jejím průběhu přesahovaly naměřené *průměrné denní* koncentrace těžkých kovů *roční IL* u kadmia a arsenu to na stanicích v Tanvaldu (Elsklo, školka, Popelnice), Desná-SÚS a v případě kadmia i na stanici Souš. Maximální koncentrace kadmia byly v naprosté většině případů zjištěny na stanici Tanvald-Elsklo. V deseti případech byly vyšší 24hodinové (od 7 do 7 h občanského času) než 12hodinové (od 13 do 1 h občanského času) odběry (v průměru 2x) a v 11 případech byly vyšší 12hodinové než 24hodinové odběry (v průměru 1,3x). Nejvyšší průměrná koncentrace kadmia za zimní kampaň byla naměřena na stanici Tanvald-Elsklo 12h (8,8 ng.m⁻³) a dále pak na stanicích Tanvald-Elsklo 24h (7,4 ng.m⁻³), Desná-SÚS (6,4 ng.m⁻³), Tanvald-Popelnice (3,6 ng.m⁻³), Tanvald-školka (3,4 ng.m⁻³), Souš (1,2 ng.m⁻³) a Jizerka (0,2 ng.m⁻³). Nejvyšší koncentrace kadmia během jednoho odběru pak byla naměřena 1. 1. 2017 na stanici Tanvald-Elsklo 12h (66,2 ng.m⁻³). Nejvyšší koncentrace kadmia (37,7 ng.m⁻³) na stanici Tanvald-školka byla naměřena 20. 12. 2016. Podrobné tabelární výsledky pro těžké kovy s imisním limitem jsou uvedeny v Tab. 16 a Tab. 17 (Příloha 5).

Nejvyšší koncentrace kadmia v desenském údolí (kromě stanice Tanvald-školka) byly naměřeny na Nový rok 1. ledna 2017. Podle vyjádření odboru životního prostředí MÚ Tanvald v ten den nedocházelo k většímu odpalování zábavné pyrotechniky. Podíváme-li se ale podrobně na naměřené koncentrace jednotlivých prvků, zjistíme, že 1. ledna byly naměřeny extrémní koncentrace bismutu a stroncia a dále baria, mědi, eutropia, olova, galia, draslíku a hořčíku (Tab. 3), tedy převážně prvků používaných v zábavné pyrotechnice. Je tedy zřejmé, že odběr z 1. ledna 2017 není reprezentativní z pohledu celoročně působících zdrojů, ale je ovlivněn akumulací zplodin z ohňostrojů odpalovaných 31. prosince 2016.

Podobnost průběhu Cd a PM₁₀

Naměřené hodnoty kadmia a PM₁₀ jsou zobrazeny v grafech na Obr. 17 a Pozn.: Denní IL PM₁₀ odpovídá hodnotě denního imisního limitu PM₁₀ s maximálním povoleným počtem 35 překročení za rok.

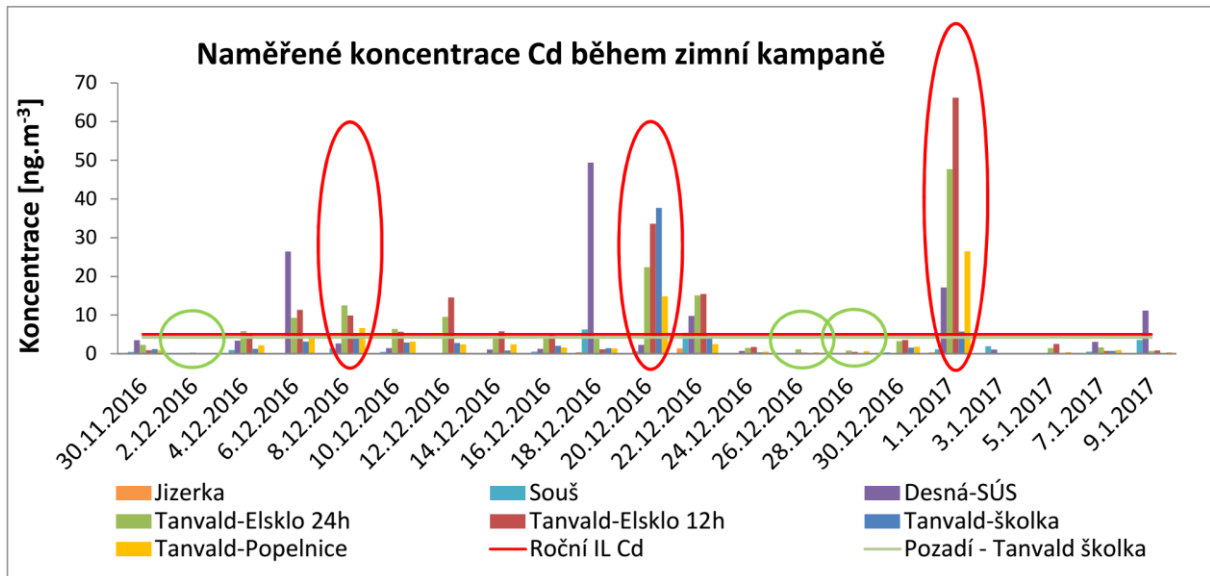
Obr. 18. Stejně jako v létě se z obrázků nejeví, že vysokým koncentracím kadmia neodpovídá obdobný nárůst koncentrací PM₁₀. Nicméně koncentrace Cd a PM₁₀ mezi jednotlivými stanicemi spolu korelovaly více, než v letní kampani. Nejtěsnější vazba (cca 0,7) byla zjištěna na stanicích Jizerka a Tanvald-Elsklo 24h (Obr. 19).

Podobnost průběhu Cd mezi stanicemi

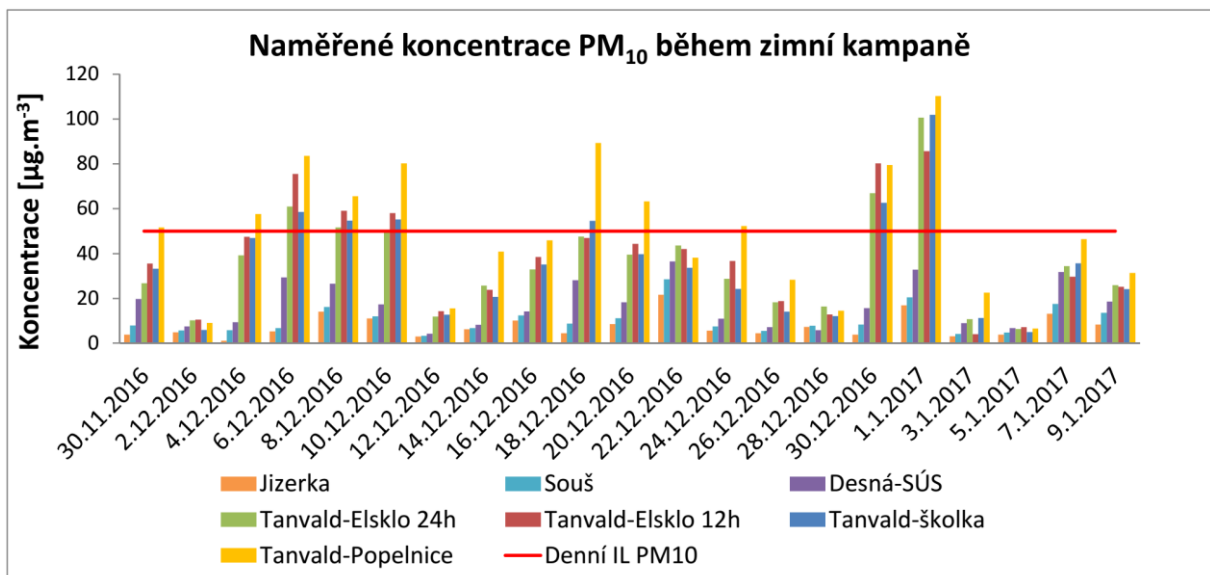
Vyjádřeno Pearsonovým korelačním koeficientem vykazují největší podobnost časové průběhy koncentrací kadmia na stanicích Desná-SÚS, Souš, Tanvald-školka a Tanvald-Popelnice (korelace 0,8 až 0,96) a dále mezi stanicí Tanvald-Elsklo 24h a Jizerka (0,69).

Vazba průběhu Cd na jeho spotřebu v PRECIOSA ORNELA

Zároveň byla zkoumána i korelace mezi naměřenými koncentracemi kadmia a jeho spotřebou v PRECIOSA ORNELA, a. s. Protože denní odběry probíhaly od 7 h do 7 h následujícího dne, byla korelována jak spotřeba v den odpovídající počátku odběru, tak v den odpovídající jeho konci. Během zimních inverzí může docházet k akumulaci škodlivin v ovzduší, a proto byla zkoumána i vazba na spotřebu kadmia ve dni předcházejícím počátku odběru. Všechny tyto korelace byly vesměs kladné, ale žádná nepřesáhla hodnotu 0,5. Nejvíce spolu korelovaly koncentrace kadmia a jeho spotřeby z předchozího dne na stanicích Tanvald-školka, Tanvald-Popelnice, Desná-SÚS a Souš (Obr. 20).



Obr. 17 Graf koncentrací kadmia - zimní kampaň.

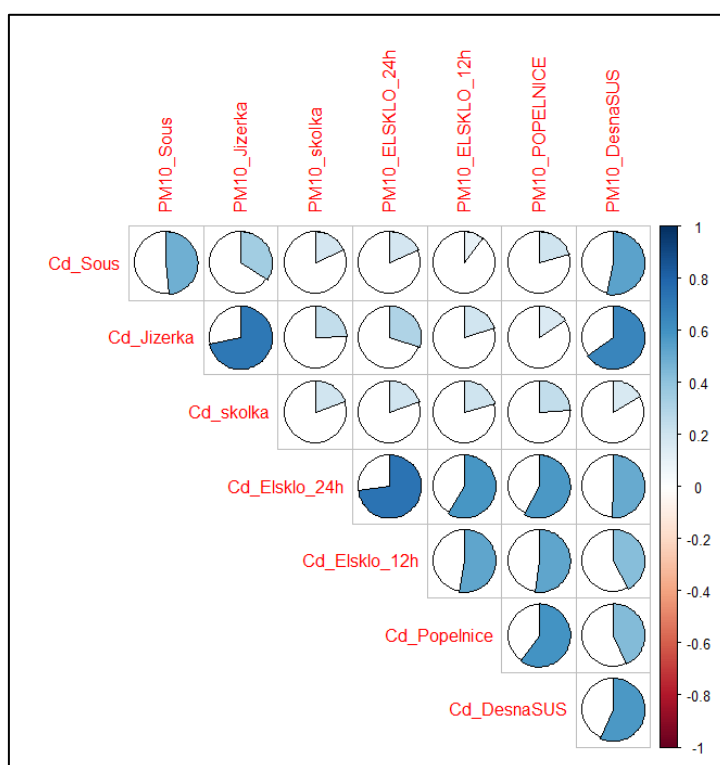


Pozn.: Denní IL PM10 odpovídá hodnotě denního imisního limitu PM₁₀ s maximálním povoleným počtem 35 překročení za rok.

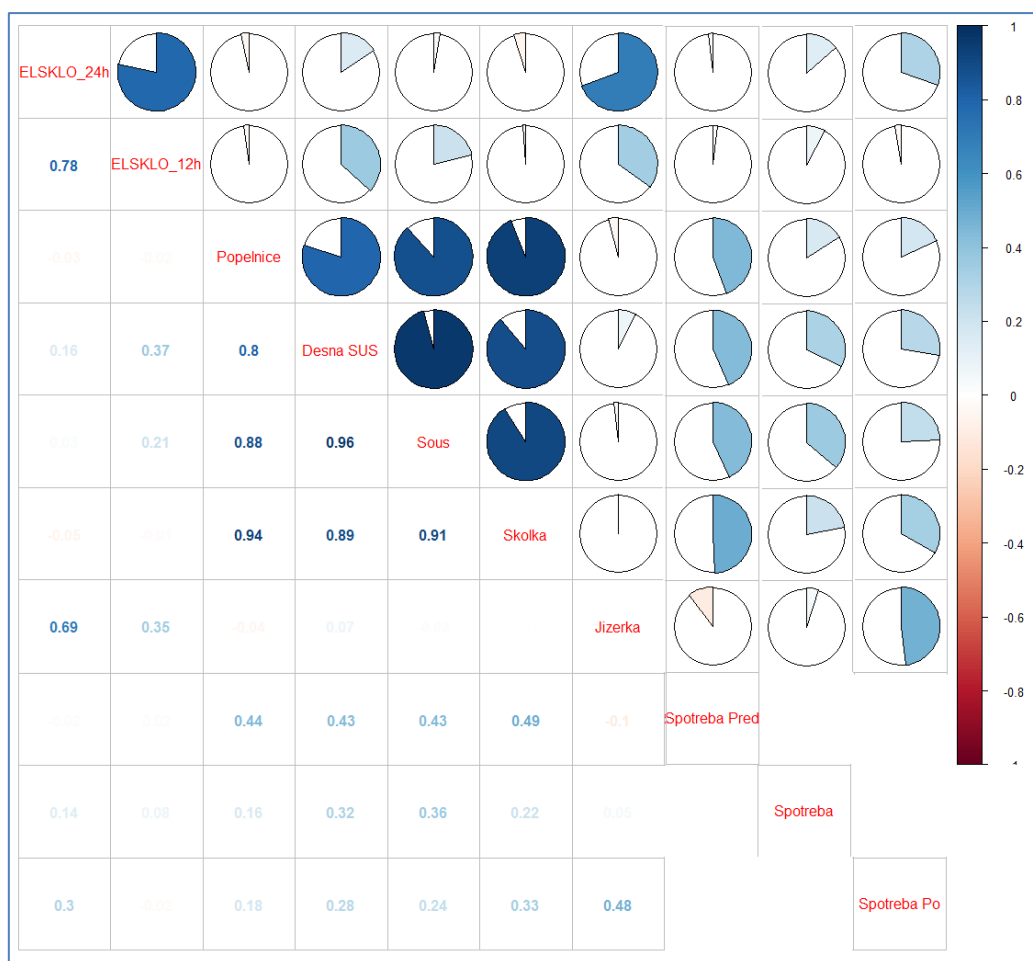
Obr. 18 Graf koncentrací PM₁₀ - zimní kampaň.

Tab. 3 Maximální koncentrace naměřené 1. ledna 2017 (vztaženo k průměru za zimní kampaň).

prvek	konc. na stanici 1. 1. 2017 / průměr zimní kampaň (průměr ze všech stanic)	2. nejvyšší koncentrace na stanici / průměr zimní kampaň (průměr ze všech stanic)
209Bi	17,4	1,0
88Sr	16,4	1,0
137Ba	12,4	1,6
65Cu	9,8	1,3
153Eu	8,8	1,7
105Pd	8,5	1,7
69Ga	7,7	1,8
39K	7,6	1,7
24Mg	6,6	2,2



Obr. 19 Pearsonův korelační koeficient mezi naměřenými koncentracemi Cd a PM₁₀ na jednotlivých stanicích - zimní kampaň.

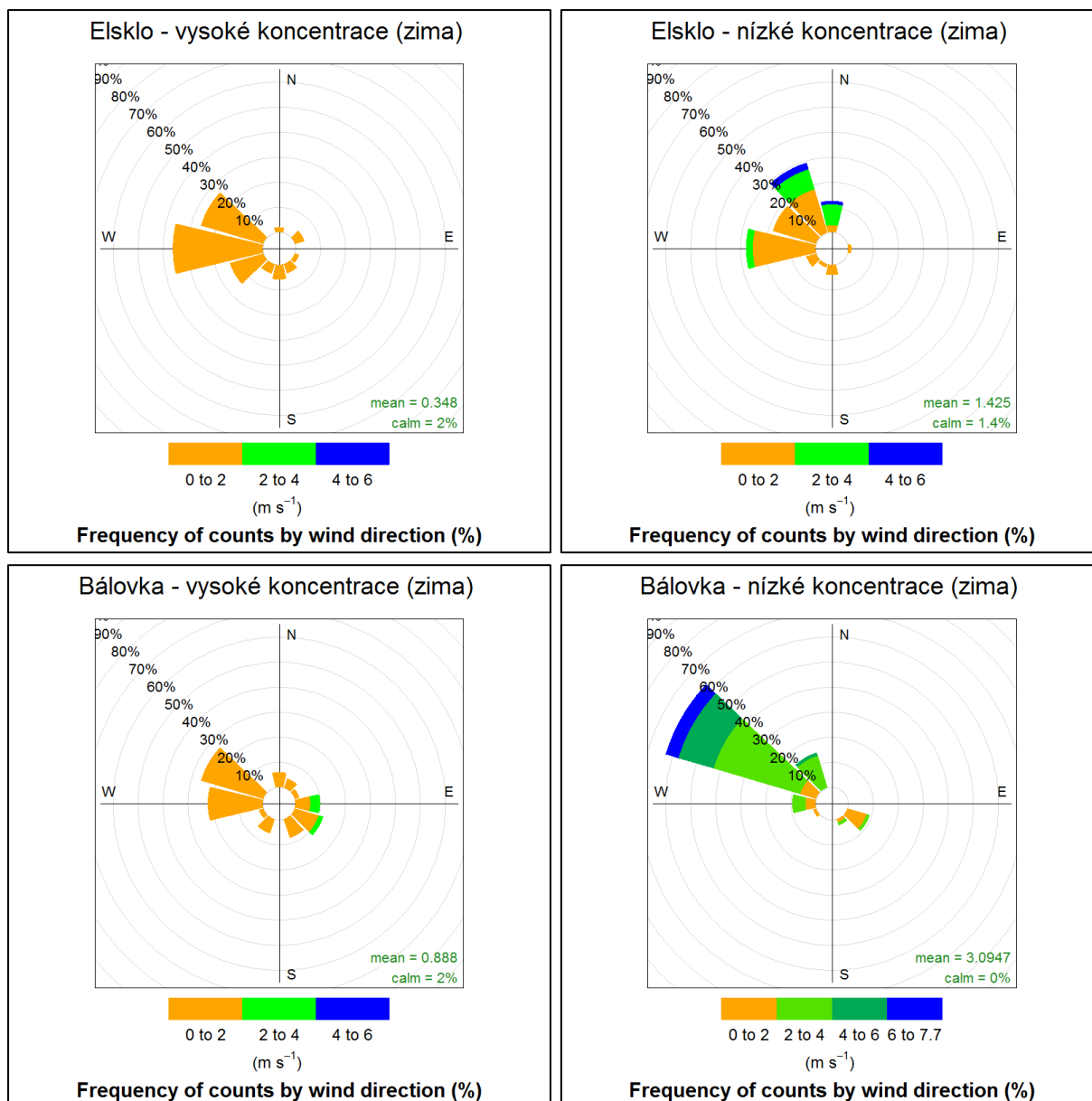


Obr. 20 Pearsonův korelační koeficient mezi naměřenými koncentracemi Cd na jednotlivých stanicích a spotřebou kadmia v PERCIOSA ORNELA, a. s. v den před počátkem odběru (Spotřeba Před), v den počátku odběru (Spotřeba) a v den konce odběru (Spotřeba Po). Zimní kampaň bez 1. ledna.

Analýza povětrnostní situace

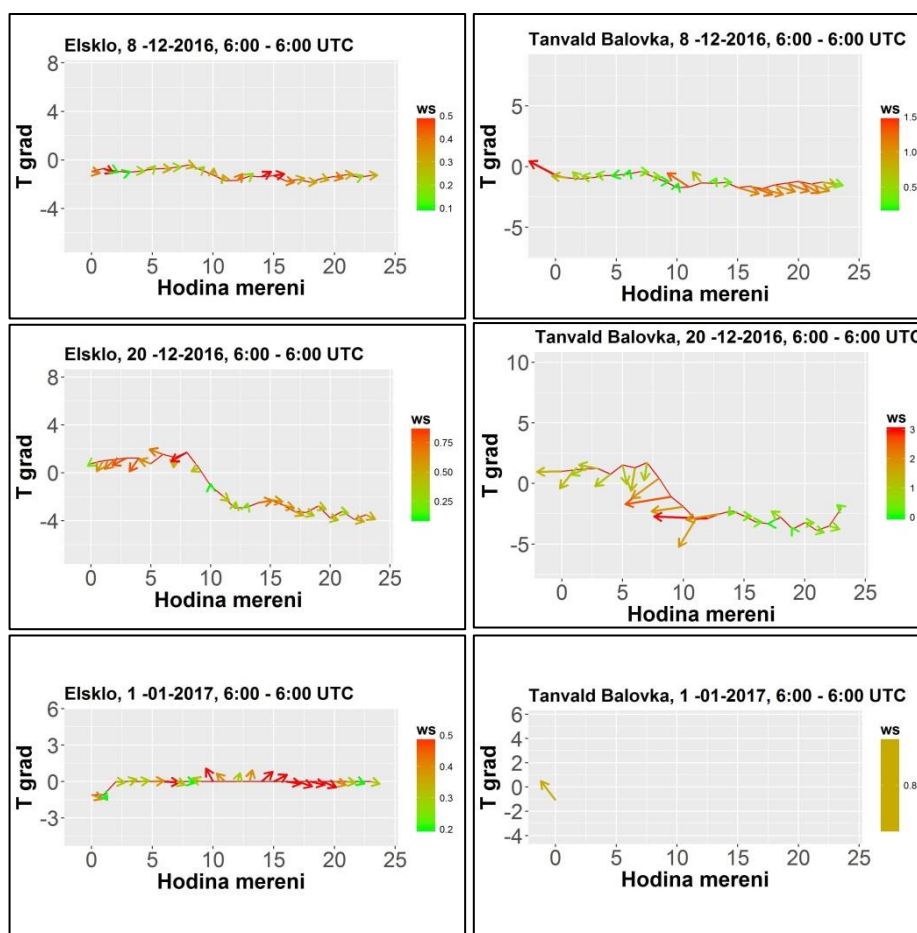
Analýza povětrnostní situace byla provedena stejně jako v letní kampani pro dny s vysokou koncentrací kadmia na lokalitě Tanvald-školka a pro vybrané dny s celkově nízkými koncentracemi Cd. Ty byly vybrány na základě stejných kritérií jako u letní kampaně. Jako dny s vysokou koncentrací byly vybrány následující dny: 8. a 20. prosinec 2016 a 1. leden 2017. Jako dny s nízkou koncentrací byly vybrány následující dny: 2., 26. a 28. prosinec 2016.

Větrné růžice pro zimní období měření s vysokou i nízkou naměřenou koncentrací Cd jsou vykresleny na Obr. 21. Pro porovnání byly vybrány stanice stejné stanice jako v letním období. Analýzou větrných růžic bylo zjištěno, že při naměřených nízkých koncentracích Cd foukal silnější vítr, proti dnům s vysokými koncentracemi. Proti letnímu období však ve dnech s nízkou koncentrací foukal vítr s větší rychlostí.



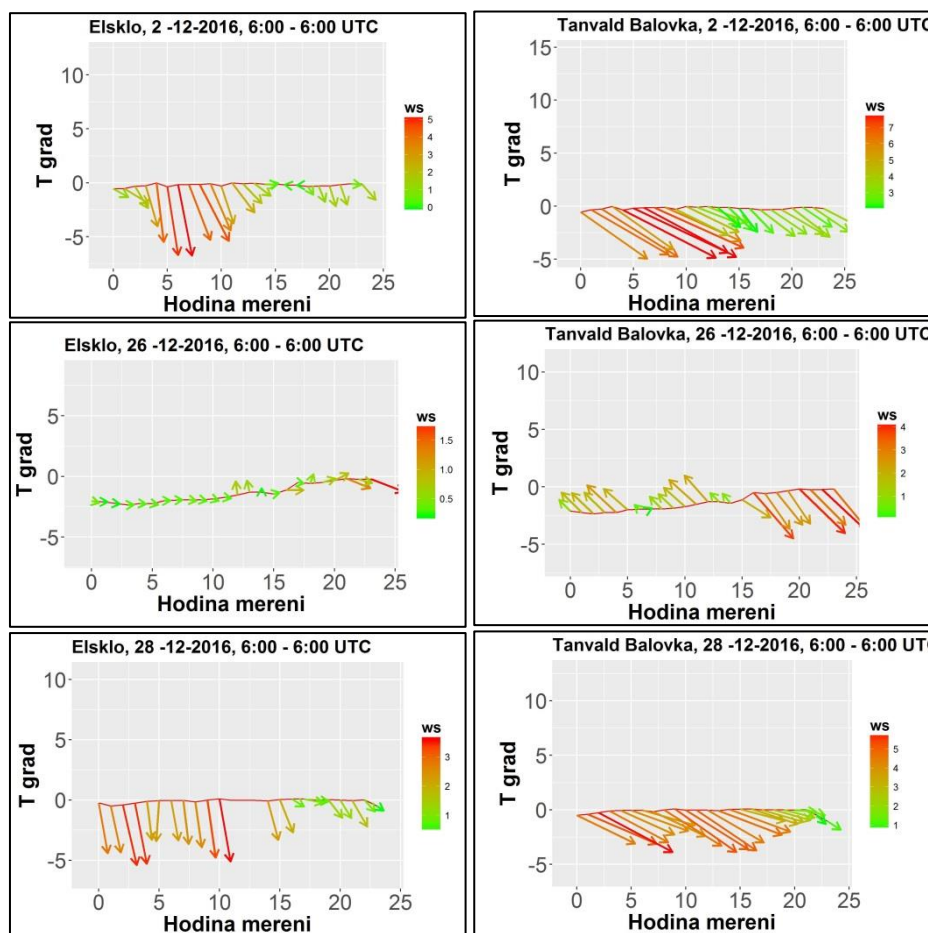
Obr. 21 Větrné růžice ze dnů, kdy byly naměřeny nejvyšší a nejnižší koncentrace kadmia - zimní kampaň.

Detailní hodinová analýza směrů a rychlostí větru pro zimní období je znázorněna na Obr. 22 a Obr. 23. Tato analýza měla stejný cíl, jako v letním období. Severní až severovýchodní (S–SV) směry se vyskytují průběžně na obou stanicích, většinou se však jedná o několik hodin a nemůžeme mluvit o převládajících větrech. Ve dnech s vysokou koncentrací se vyskytují na stanici Tanvald-Elasklo převážně nízké rychlosti větru. Ve dnech s nízkou koncentrací se na stanici Elasklo sice často vyskytují S–SV směry (2. 12. a 28. 12.), ale na vítr má vyšší rychlosti, což podporuje rozptyl látek. Při nízkých rychlostech větru má zase vítr výrazně jiný směr (26. 12. 2016). Teplotní gradient mezi stanicemi Souš a Tanvald-Bálovka ukazuje většinou stabilní až superstabilní teplotní zvrstvení, které zamezuje většímu rozptylu znečišťujících látek a tím pádem podporuje jejich vyšší koncentrace. Pro 1. 1. 2017 bohužel není teplotní gradient, podobně jako rychlost a směr větru na stanici Tanvald-Bálovka k dispozici.



Obr. 22 Stabilita a vítr na lokalitách Tanvald-Elasklo a Tanvald-Bálovka ve dnech s vysokými koncentracemi kadmia - zimní kampaň.

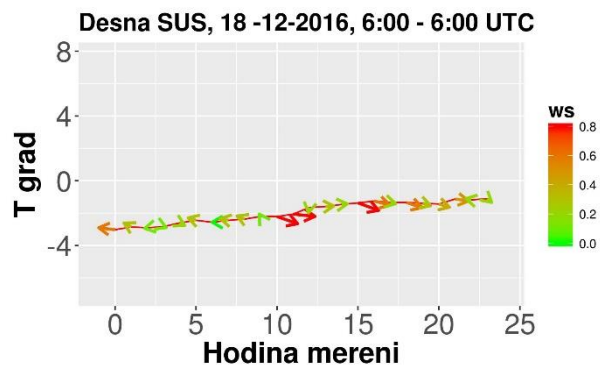
Pozn.: Časové rozpětí od 6:00 do 6:00 UTC odpovídá manuálnímu odběru vzorků. Hodina měření je pořadí hodiny během odběru, tzn. 0 odpovídá 6–7 UTC a 23 odpovídá 5–6 UTC následujícího dne. Stabilita atmosféry je vyjádřena výškovým teplotním gradientem definovaným jako $-dT/dz \cdot 100$, který byl počítán na základě rozdílu teplot mezi stanicemi Tanvald-Bálovka a Souš (výškový rozdíl 307 m). Hodnota $T_{grad} = 0,9$ odpovídá normálnímu poklesu teploty s výškou v suchém vzduchu. $T_{grad} > 0,9$ odpovídá konvektivnímu zvrstvení a $T_{grad} < 0$ inverznímu zvrstvení. Šipka směřující dolů (doprava) odpovídá severnímu (západnímu) proudění.



Obr. 23 Stabilita a vítr na lokalitách Tanvald-Elsklo a Tanvald-Bálovka ve dnech s nízkými koncentracemi kadmia - zimní kampaň.

Pozn.: Časové rozpětí od 6:00 do 6:00 UTC odpovídá manuálnímu odběru vzorků. Hodina měření je pořadí hodiny během odběru, tzn. 0 odpovídá 6–7 UTC a 23 odpovídá 5–6 UTC následujícího dne. Stabilita atmosféry je vyjádřena výškovým teplotním gradientem definovaným jako $-dT/dz \cdot 100$, který byl počítán na základě rozdílu teplot mezi stanicemi Tanvald-Bálovka a Souš (výškový rozdíl 307 m). Hodnota $T_{grad} = 0,9$ odpovídá normálnímu poklesu teploty s výškou v suchém vzduchu. $T_{grad} > 0,9$ odpovídá konvektivnímu zvrstvení a $T_{grad} < 0$ inverznímu zvrstvení. Šipka směřující dolů (doprava) odpovídá severnímu (západnímu) proudění.

Na Obr. 24 je zobrazena stabilita a vítr na lokalitě Desná-SÚS během odběru z 18. 12. 2016, kdy byla na této stanici naměřena koncentrace kadmia $49,4 \text{ ng.m}^{-3}$. Další nejvyšší koncentrace v tomto termínu byly naměřeny na stanicích Souš ($6,3 \text{ ng.m}^{-3}$) a Tanvald-Elsklo 24h ($3,8 \text{ ng.m}^{-3}$), zatím co na všech ostatních stanicích byly koncentrace pod $1,4 \text{ ng.m}^{-3}$. Termín byl charakterizován velmi silnou teplotní inverzí a slabým proměnlivým větrem na stanici Desná-SÚS kromě 17–19 a 22–23 SEČ, kdy na stanici vál západní vítr o rychlosti cca $0,8 \text{ m.s}^{-1}$. Takovéto rozložení koncentrací by mohlo být naměřeno, např. pokud by kadmium bylo emitováno vysokým zdrojem (komínem). Kouřová vlečka by se díky silné inverzi nemohla dostat k zemi a za příznivých podmínek by mohla zasáhnout stanici Desná-SÚS.



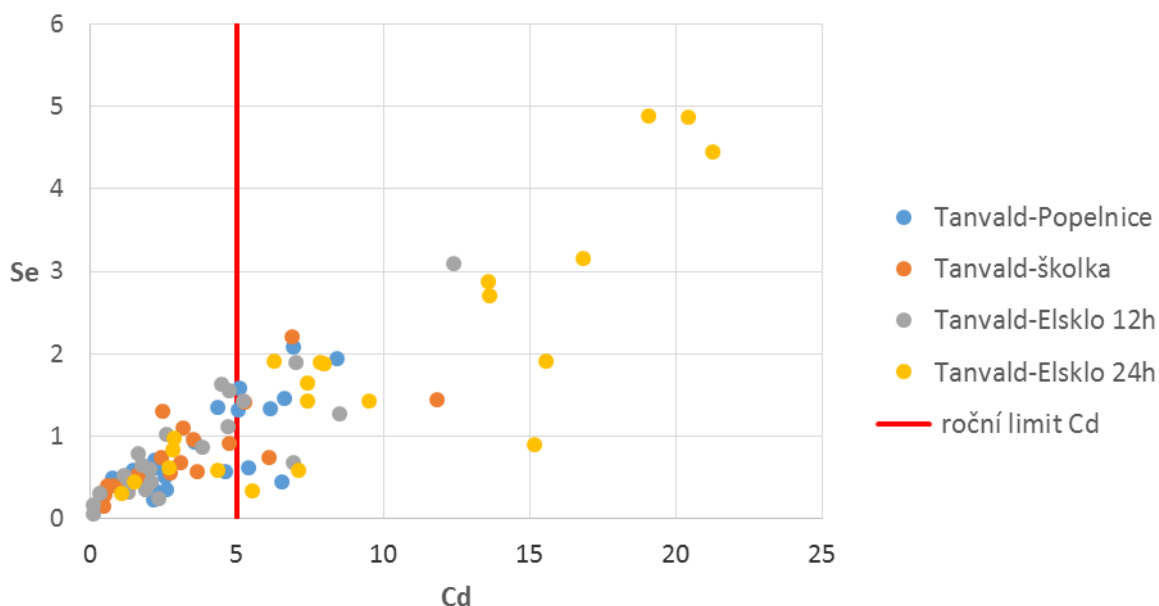
Obr. 24 Stabilita a vítr na lokalitě Desná-SÚS během odběru z 18. 12. 2016, kdy byla naměřena koncentrace kadmia $49,4 \text{ ng.m}^{-3}$. Teplotní gradient byl počítán ze stanic Tanvald-Bálovka a Souš.

Určení možných zdrojů kadmia

Korelační analýza těžkých kovů a ostatních prvků

Pro jednotlivé lokality byla provedena korelační analýza naměřených koncentrací PM_{10} a těžkých kovů a dalších analyzovaných prvků. Jejím cílem bylo zjistit, zda některé látky nevykazují podobnou časovou proměnlivost koncentrací jako kadmium. Byl použit jak Pearsonův, tak Spearmanův korelační koeficient. Pearsonův korelační koeficient vyjadřuje míru lineární závislosti mezi dvěma veličinami. Podmínkou pro jeho korektní výpočet je, aby obě veličiny měly normální rozdělení. Z obou výše uvedených důvodů byl spočten i Spearmanův korelační koeficient, který normalitu dat nepředpokládá a vyjadřuje míru monotónní závislosti, tedy do jaké míry nárůst, resp. pokles veličiny B odpovídá nárůstu veličiny A. Oba korelační koeficienty nabývají hodnot od -1 do 1 , přičemž 1 znamená maximální shodu.

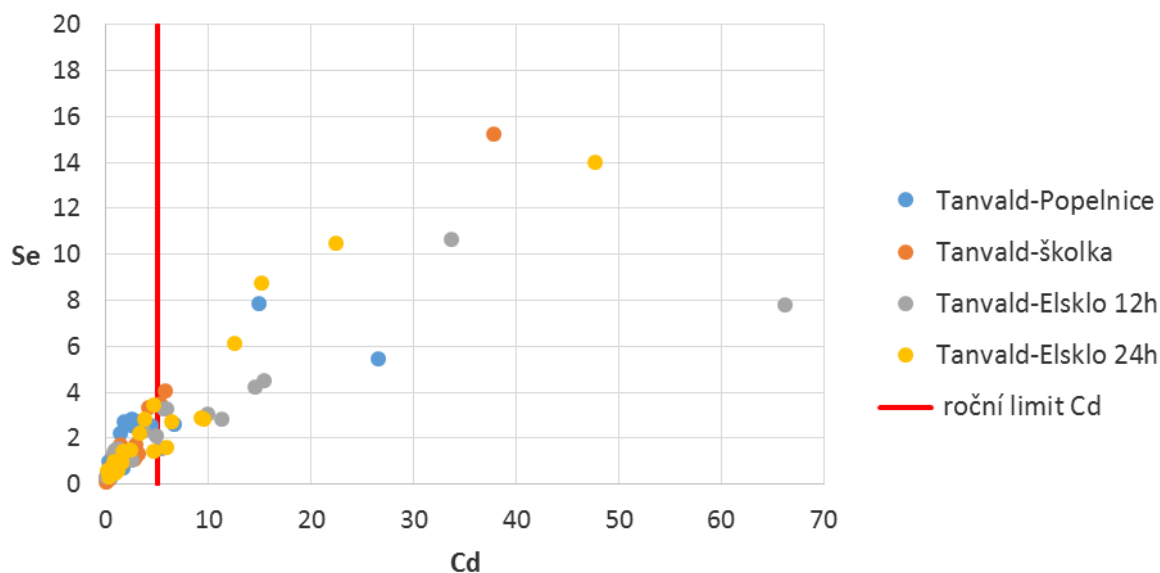
Pro **letní kampaň** platí, že na stanici Jizerka nebyla naměřena látka, která by měla ve srovnání s ostatními kadmium výrazně podobnější chování. Totéž platí, obzvláště s přihlédnutím k Spearmanově koeficientu, i pro stanici Souš. Na ostatních lokalitách položených blíže centru Tanvaldu vykazuje podle obou korelačních koeficientů výrazně nejvyšší podobnost s kadmium selen (Se) a na Tanvald-školka podle Pearsonova koeficientu ještě antimon (Sb). Podle Spearmanova koeficientu se selen podobností ke kadmium od ostatních látek nejvíce odlišuje na lokalitách Tanvald-školka a Tanvald-Elasklo. Výsledky pro letní kampaň jsou uvedeny v tabulkách Tab. 4 a Tab. 5.



Obr. 25 Scatterplot průměrných denních koncentrací kadmia a selenu na lokalitách v Tanvaldu ($ng.m^{-3}$). Letní kampaň.

Pro **zimní kampaň** vykazuje při pohledu na Pearsonův koeficient největší podobnost s kadmium a zároveň se tím výrazněji odlišuje od zbývajících prvků selen a to na stanicích Tanvald-školka, Tanvald-Popelnice a Tanvald-Elasklo 12h. Na stanici Souš jsou to méně výrazně prvky selen a antimon. Naopak na stanici Tanvald-Elasklo 24h, Desná-SÚS a Jizerka nevykazoval žádný prvek výrazně vyšší podobnost s kadmium, než ostatní prvky s podobným chodem. Spearmanův korelační koeficient dosahuje pro selen také vysokých hodnot, ale výrazněji se s výjimkou stanice Souš neodlišuje od ostatních látek, které také vykazují vysokou podobnost s kadmium. Vzhledem k odlišným vlastnostem

obou koeficientů se lze domnívat, že Spearmanův koeficient postihnul podobnost chování látek danou meteorologickými podmínkami (hromadění škodlivin při zimních inverzích). Výsledky pro zimní kampaň jsou uvedeny v tabulkách Tab. 6 a Tab. 7.



Obr. 26 Scatterplot průměrných denních koncentrací kadmia a selenu na lokalitách v Tanvaldu (ng.m^{-3}). Zimní kampaň.

Podobnost mezi veličinami sama o sobě nedokládá, že jejich původem je tentýž zdroj. Jak bylo uvedeno výše, nejvýznamnějšími zdroji kadmia v okrese Jablonec nad Nisou jsou závody PRECIOSA ORNELA, a. s., závod Desná a Polubný a závod Pířchovice zabývající se výrobou skla. V Tab. 13 (Příloha 3) jsou uvedeny prvky používané k barvení skla. Z ní vyplývá, že kadmium se používá v kombinaci se selenem k výrobě rubínového, granátového a oranžového skla. **Z výše uvedených informací lze usuzovat, že vysoké koncentrace kadmia naměřené v obcích Tanvald a Desná jsou patrně způsobeny sklářským průmyslem.**

Tab. 4 Pearsonův korelační koeficient mezi časovou řadou koncentrací kadmia a ostatních těžkých kovů, resp. PM₁₀. Uvedeno vždy prvních 20 látek s největší korelací. Letní kampaň.

Jizerka		Souš		Desná-SÚS		Tanvald- Elasklo 12h		Tanvald- Elasklo 24h		Tanvald- školka		Tanvald- Popelnice	
Ge	0,69	Cr	0,81	Se	0,74	Se	0,88	Se	0,87	Sb	0,79	Se	0,78
Rb	0,67	Se	0,67	Fe	0,62	As	0,43	Re	0,61	Se	0,76	Cr	0,53
Sb	0,65	Sb	0,57	Cr	0,60	Cr	0,42	As	0,47	Ag	0,60	Zn	0,36
Ga	0,62	Zn	0,48	Bi	0,57	Sb	0,39	Te	0,45	Re	0,46	Cu	0,25
Cu	0,61	Cu	0,40	Ir	0,50	Re	0,38	Rb	0,44	Cr	0,41	Er	0,24
Cs	0,59	Ge	0,36	Sb	0,49	PM ₁₀	0,37	Sb	0,42	Zn	0,39	Au	0,23
Ca	0,56	Sn	0,36	Mn	0,46	Tm	0,32	Er	0,41	Ba	0,31	Rb	0,20
Mn	0,56	Ir	0,36	Li	0,44	Lu	0,30	K	0,33	In	0,30	Sb	0,20
Fe	0,56	Te	0,30	Al	0,44	Ho	0,29	Tl	0,30	Co	0,27	Al	0,17
Zn	0,56	Rb	0,29	La	0,44	Rb	0,28	Ir	0,22	Te	0,25	Ba	0,17
Ce	0,56	Hf	0,27	Ce	0,44	La	0,28	Cr	0,19	Hg	0,25	Ga	0,16
Co	0,55	Ga	0,26	Hg	0,44	Tl	0,28	PM ₁₀	0,18	As	0,19	Ag	0,14
Pr	0,52	Ba	0,26	Co	0,43	Yb	0,26	Ru	0,14	W	0,19	Te	0,14
Nd	0,52	Ca	0,25	Ge	0,42	Ir	0,26	U	0,14	Ga	0,14	Ta	0,12
Li	0,51	Mn	0,25	Ho	0,42	Dy	0,24	Cs	0,12	Tl	0,14	As	0,10
La	0,51	Ce	0,24	Ni	0,40	Th	0,23	Sn	0,11	Sn	0,13	Ir	0,09
Sm	0,51	²⁰⁸ Pb	0,24	Ga	0,40	Cs	0,22	Th	0,11	Cs	0,11	Tl	0,09
Sn	0,50	K	0,23	Sn	0,40	Gd	0,21	Cu	0,10	PM ₁₀	0,09	Rh	0,08
Gd	0,50	Fe	0,23	Pr	0,40	Pd	0,20	²⁰⁸ Pb	0,08	Li	0,09	Cs	0,07
Yb	0,50	PM ₁₀	0,22	Nd	0,40	Ce	0,20	Bi	0,08	Cu	0,08	²⁰⁸ Pb	0,07

Tab. 5 Spearmanův korelační koeficient mezi časovou řadou koncentrací kadmia a ostatních těžkých kovů, resp. PM₁₀. Uvedeno vždy prvních 20 látek s největší korelací. Letní kampaň.

Jizerka		Souš		Desná-SÚS		Tanvald- Elasklo 12h		Tanvald- Elasklo 24h		Tanvald- školka		Tanvald- Popelnice	
Ge	0,73	Sn	0,70	Se	0,77	Se	0,84	Se	0,86	Se	0,89	Se	0,72
Ag	0,70	Cr	0,68	Bi	0,60	Tl	0,65	Tl	0,63	Sb	0,65	Cr	0,66
Ga	0,68	Cu	0,64	Mo	0,58	Re	0,50	As	0,62	As	0,61	Tl	0,55
Sb	0,67	Ge	0,63	Zn	0,56	Cr	0,40	Re	0,60	Ag	0,60	Zn	0,48
Rb	0,65	Sb	0,63	Fe	0,53	As	0,36	Cr	0,53	Te	0,59	As	0,42
Cs	0,65	²⁰⁸ Pb	0,63	Sb	0,53	Ir	0,36	Sb	0,50	Tl	0,59	Mo	0,38
Cu	0,64	Se	0,62	As	0,51	PM ₁₀	0,35	K	0,45	Zn	0,57	Ag	0,33
²⁰⁸ Pb	0,64	Rb	0,62	Cr	0,50	Rb	0,32	Zn	0,45	Cr	0,51	Cu	0,29
Tl	0,60	Te	0,60	Mn	0,47	Sb	0,29	Rb	0,45	Bi	0,49	Te	0,26
Zn	0,58	PM ₁₀	0,58	Li	0,45	Tm	0,28	Er	0,45	Mo	0,48	Ga	0,25
K	0,55	Mn	0,58	Ir	0,45	La	0,27	Te	0,43	Re	0,45	Ba	0,24
Ca	0,55	Fe	0,55	Er	0,44	K	0,25	Mo	0,40	Ga	0,38	Sb	0,21
Sn	0,53	Ga	0,55	PM ₁₀	0,43	Mo	0,24	Cu	0,29	Ba	0,37	Ir	0,21
Mn	0,51	Ba	0,55	Ge	0,43	Yb	0,23	PM ₁₀	0,24	In	0,34	Er	0,20
Co	0,51	Ti	0,54	In	0,43	Mg	0,19	Co	0,21	Hg	0,34	Rb	0,19
Mo	0,51	As	0,54	Co	0,42	Dy	0,19	Ir	0,20	PM ₁₀	0,24	²⁰⁸ Pb	0,18
Ni	0,48	Ca	0,52	Sn	0,42	Ho	0,19	Sn	0,19	²⁰⁸ Pb	0,24	Cs	0,17
Te	0,48	Hf	0,52	La	0,42	Be	0,18	Ru	0,15	Ge	0,23	PM ₁₀	0,16
Li	0,47	Ce	0,51	Hf	0,42	V	0,18	²⁰⁸ Pb	0,15	Cu	0,22	Ge	0,15
Fe	0,47	K	0,49	Re	0,42	Cs	0,18	Ag	0,14	Cs	0,20	K	0,13

Tab. 6 Pearsonův korelační koeficient mezi časovou řadou koncentrací kadmia a ostatních těžkých kovů, resp. PM₁₀. Uvedeno vždy prvních 20 látek s největší korelací. Zimní kampaň bez 1. ledna.

Jizerka		Souš		Desná-SÚS		Tanvald- Elsklo 12h		Tanvald- Elsklo 24h		Tanvald- školka		Tanvald- Popelnice	
Al	0.94	Se	0.93	Sb	0.96	Se	0.97	Se	0.95	Se	0.99	Se	0.93
²⁰⁸ Pb	0.83	Sb	0.79	Se	0.93	Li	0.65	Er	0.94	Li	0.59	Li	0.60
Er	0.81	Li	0.67	Pt	0.86	Ag	0.63	²⁰⁸ Pb	0.89	Ca	0.59	Cr	0.60
Ga	0.77	As	0.66	²⁰⁸ Pb	0.86	Sb	0.54	Rh	0.83	Ba	0.58	Sb	0.59
Ba	0.73	Ag	0.66	Li	0.80	²⁰⁸ Pb	0.51	Sb	0.78	²⁰⁸ Pb	0.58	Er	0.59
PM ₁₀	0.71	Zn	0.64	Be	0.80	Rh	0.50	Li	0.75	Cr	0.54	²⁰⁸ Pb	0.57
Pd	0.68	Rh	0.63	Ag	0.77	Hf	0.49	Ag	0.71	Rh	0.47	Cu	0.55
K	0.66	Be	0.56	Tl	0.77	Eu	0.41	Hf	0.66	V	0.46	Rh	0.55
Zn	0.66	K	0.56	Rh	0.74	Ba	0.40	Eu	0.63	Sb	0.42	Hf	0.54
Co	0.62	²⁰⁸ Pb	0.56	Te	0.73	Mn	0.39	Ba	0.62	Eu	0.40	Mo	0.53
As	0.59	Ga	0.55	Cs	0.73	Er	0.37	Mo	0.60	Mo	0.38	V	0.51
Yb	0.59	Mo	0.55	Re	0.70	Ca	0.36	Ca	0.58	Co	0.37	Ag	0.50
Ni	0.58	W	0.55	K	0.67	Mo	0.34	Ga	0.57	Ag	0.37	Zn	0.47
Cu	0.58	PM ₁₀	0.53	Ge	0.64	Pd	0.33	Hg	0.53	Zn	0.35	Fe	0.46
Se	0.58	Rb	0.52	Rb	0.63	Ga	0.32	U	0.50	Mn	0.31	Ca	0.44
Eu	0.58	Sn	0.49	Zn	0.61	As	0.32	Te	0.49	Ni	0.31	In	0.44
Tm	0.55	Cs	0.47	As	0.59	Fe	0.30	K	0.45	Er	0.30	Lu	0.44
Li	0.54	Re	0.38	PM ₁₀	0.54	PM ₁₀	0.29	As	0.45	Hf	0.29	Mn	0.43
Gd	0.53	Co	0.37	Ni	0.52	V	0.29	Co	0.44	Cu	0.28	Rb	0.41
Dy	0.52	Cu	0.37	Mo	0.51	Zn	0.29	Tl	0.44	Ga	0.28	PM ₁₀	0.40

Tab. 7 Spearmanův korelační koeficient mezi časovou řadou koncentrací kadmia a ostatních těžkých kovů, resp. PM₁₀. Uvedeno vždy prvních 20 látek s největší korelací. Zimní kampaň bez 1. ledna.

Jizerka		Souš		Desná-SÚS		Tanvald- Elsklo 12h		Tanvald- Elsklo 24h		Tanvald- školka		Tanvald- Popelnice	
As	0,78	Se	0,91	Be	0,92	Se	0,94	²⁰⁸ Pb	0,95	²⁰⁸ Pb	0,98	²⁰⁸ Pb	0,90
²⁰⁸ Pb	0,78	As	0,81	Se	0,92	Li	0,89	Se	0,93	Se	0,92	Cu	0,85
Li	0,68	Ga	0,80	Zn	0,91	Ag	0,83	Rh	0,90	Sb	0,91	Se	0,85
Mo	0,63	Zn	0,78	As	0,91	²⁰⁸ Pb	0,82	Li	0,86	Rh	0,88	Rh	0,82
Cs	0,63	Sb	0,78	Co	0,89	Sb	0,71	Ag	0,86	Li	0,85	Cr	0,78
Tl	0,63	Rb	0,75	PM ₁₀	0,88	Rh	0,70	Er	0,82	Cu	0,84	Ba	0,78
Ge	0,61	K	0,73	Sb	0,87	Er	0,69	Sb	0,80	Cr	0,82	Mo	0,77
Ga	0,60	Ba	0,73	Tl	0,86	Zn	0,67	Ba	0,76	Ag	0,82	Ag	0,76
Rb	0,57	Tl	0,69	Cr	0,85	Ba	0,65	Mo	0,75	K	0,80	Li	0,74
Zn	0,55	Li	0,66	Ni	0,85	Ga	0,64	Ga	0,74	Zn	0,80	Er	0,74
Lu	0,53	Ge	0,66	Ga	0,85	Pd	0,64	Eu	0,74	Mo	0,80	Mn	0,70
Tb	0,52	Cs	0,66	Ag	0,85	Eu	0,64	Zn	0,70	Rb	0,77	Fe	0,69
U	0,52	²⁰⁸ Pb	0,63	W	0,84	Hf	0,64	Te	0,69	Er	0,77	Rb	0,67
Ce	0,51	Co	0,62	Cs	0,82	Mo	0,63	Tl	0,69	PM ₁₀	0,75	Sb	0,64
Re	0,51	Be	0,59	Re	0,82	PM ₁₀	0,57	Hf	0,67	Ba	0,75	PM ₁₀	0,63
Co	0,50	PM ₁₀	0,58	K	0,81	Cu	0,57	K	0,65	Mn	0,74	K	0,62
Ho	0,50	Mo	0,58	Ge	0,81	Tl	0,56	Cu	0,65	Te	0,74	Zn	0,62
Sb	0,49	Bi	0,58	U	0,81	As	0,54	Rb	0,65	Tl	0,74	Te	0,61
Bi	0,48	Ag	0,55	Rb	0,80	U	0,54	U	0,65	Ga	0,71	Hf	0,61
Eu	0,47	Sn	0,55	Mo	0,78	K	0,53	PM ₁₀	0,64	W	0,70	Sn	0,60

Analýza metodou PMF

Popis metody PMF

Tato metoda faktorové analýzy rozděluje skupinu naměřených výsledků (dny a analyty³) podle jejich chování. Danému počtu faktorů přiřazuje část naměřených koncentrací různých analytů tak, aby výsledná namodelovaná koncentrace měla co nejmenší odchylku od skutečně naměřených koncentrací. Vznikne tak profil složení faktorů (z jednotlivých analytů) a podíl příspěvků faktorů na koncentracích (PM₁₀ i jednotlivých analytů) v čase. Takto získané informace jsou pak použity pro identifikaci faktorů.

Naměřená data byla kromě dalších metod zpracována pomocí metody Positive Matrix Factorization (PMF, ve verzi 5.0.13.17786) vyvinuté specialisty americké agentury pro ochranu prostředí (U.S. EPA). Tato statistická metoda patří mezi skupinu metod faktorových analýz a je odlišná od ostatních tím, že příspěvky nalezených výstupních faktorů (zdrojů znečištění ovzduší) jsou omezené kladné hodnoty, čímž je vhodná pro analýzy dat znečištění ovzduší (nalezené zdroje k celkovému znečištění ovzduší pouze přispívají - neeliminují je). Vychází z předpokladu, že koncentrace analytu j v i -tém odebraném vzorku (x_{ij}) jsou součtem určitého počtu (celkem p) faktorů (zdrojů) označených v rovnici PMF1 indexem k . Vliv každého faktoru je součinem jeho profilu (f_{kj}) (profilem je míněna časově neproměnná charakteristická kombinace jednotlivých prvků) a jeho příspěvku (g_k), který se v čase mění. Tento vztah je popsán rovnicí PMF1, ve které ještě vystupuje chyba této aproximace látka (e_{ij}).

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^p g_{ik} \cdot f_{kj} + e_{ij} \quad (\text{PMF1})$$

Chyba modelu je charakterizována bezrozměrnou objektovou funkcí Q představující součet odchylek modelu od reality normovaný individuální nejistotou těchto dat (u_{ij}) přes všechny dny a analyty (viz rovnice PMF2). Metoda PMF je zvolí řešení s nejmenší hodnotou objektové funkce (tedy řešení s nejnižší celkovou chybou).

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[\frac{x_{ij} - \sum_{k=1}^p g_{ik} \cdot f_{kj}}{u_{ij}} \right]^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[\frac{e_{ij}}{u_{ij}} \right]^2 \quad (\text{PMF2})$$

Vstupní data

V rámci interního projektu ČHMÚ na prověření zdroje kadmia na Tanvaldsku a (případně na jeho identifikování) bylo ve dvou kampaních (letní a zimní) odebráno a analyzováno zhruba 348 vzorků (včetně polních slepých pokusů). Dále bylo pro analýzu metodou PMF použito 328 vzorků ze stanice SSIM Tanvald-školka z let 2015 a 2016. Pro statistické zpracování po analýzách metodou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou tak bylo touto metodou získáno téměř 36 tisíc výsledků (počet vzorků x počet analyzovaných prvků (analytů)).

Při přípravě dat pro model PMF byly chybějící hodnoty nahrazeny geometrickým průměrem a jejich nejistota nastavena jako čtyřnásobek geometrického průměru, aby tyto hodnoty neovlivnily ostatní data (je to tak prováděno, aby nebylo nutné tyto dny vyřadit ze zpracování kvůli jednomu chybějícímu

³ Analytem je zde míněna gravimetricky stanovená koncentrace PM₁₀, analyzované těžké kovy a ostatní prvky.

analytu a připravit se tak o cenné informace ostatních naměřených analytů). V případě, že naměřené hodnoty koncentrací byly pod mezí detekce, byly tyto hodnoty nahrazeny polovinou meze detekce (v souladu s postupy dodávání dat do centrální databáze Informačního systému kvality ovzduší ČHMÚ) a jejich nejistota nahrazena hodnotou čtyřmi třetinami meze detekce tohoto analytu. Tyto postupy jsou v souladu těmi používanými v síti Imisního monitoringu a doporučenými U.S. EPA.

Výsledky

Při analýze byly prověřeny možnosti identifikace faktorů (zdrojů) v počtu od čtyř do devíti těchto faktorů. Je třeba si uvědomit, že tyto faktory jsou hypotetické zdroje znečištění, tedy nepoukazují na konkrétní fyzickou ani právní osobu, ale pomocí profilů a časového průběhu příspěvků obecně popisují zdroje, resp. stabilní kombinaci zdrojů výsledně se projevující na koncentracích měřených na odběrovém místě (receptoru). Nejlepším výsledkem bylo řešení s počtem faktorů 7, které je dále popsáno v této zprávě.

První faktor byl nazván **Zdroj kadmia** (Příloha 6, Obr. 30). Jak název napovídá, je to proto, že většina kadmia vyskytujícího se v ovzduší (85 %) je svým původem z tohoto zdroje. Tento zdroj se dále vyznačuje tím, že přináší selen (49 % z celkové imisní zátěže) a ve větší míře ještě chrom (35 % z celkové imisní zátěže). Průběh příspěvků tohoto zdroje za poslední dva roky na stanici Tanvald-školka není sezónně závislý, jeho maximum bylo v tomto období polovině roku 2015 a od té doby příspěvky (a tedy i koncentrace z tohoto zdroje pocházející) postupně klesají s celkovým minimem v zimě 2016. V průběhu celého sledovaného období se vyskytují náhlé vzestupy příspěvků, kdy nejsou výjimečné i desetinásobné hodnoty příspěvků oproti těm běžným. Na horských stanicích (Jizerka, Souš) se takto vysoké hodnoty nevyskytly, ze stanic zahrnutých do projektu ČHMÚ realizovaném v roce 2016 byly nejvyšší příspěvky nalezeny na stanici Tanvald-Elsklo a to v obou proběhlých kampaních. Zejména na stanicích v Tanvaldu (školka, Elsklo a Popelnice) byl pozorován pokles příspěvků mezi letní a zimní kampaní a to přibližně na jednu polovinu. Naopak na stanici Desná-SÚS a Souš se během zimní kampaně vyskytovaly vyšší příspěvky tohoto faktoru.

Za název **druhého faktoru** v pořadí bylo zvoleno **Lokální vytápění** (Příloha 6, Obr. 31). Stalo se tak proto, že tento faktor má výrazný roční průběh připomínající písmeno „u“ - maxima příspěvků jsou pozorována v zimních měsících, minima v těch letních a to na všech sledovaných stanicích. Stanice se lišily pouze ve výši zimních příspěvků - Jizerka, Souš a Desná-SÚS jsou v tomto ohledu zařaditelné mezi „čistší“ stanice, Tanvald-Elsklo, Tanvald-školka a především Tanvald-Popelnice mezi ty znečištěnější. Tento zdroj je typický svým obsahem arsenu (obsahuje 80 % celkové imisní zátěže tímto prvkem), draslíku a zinku (47 % a 63 % stejného parametru, v uvedeném pořadí). Tyto prvky bývají spojovány se spalováním uhlí, biomasy a v případě zinku uvolňování z kotlů, tato vazba byla opakovaně pozorována na jiných místech v republice (např. Praha, Ostrava, Košetice) i ve světě.

Třetí faktor byl označen jako **Lokální průmysl** (Příloha 6, Obr. 32). Stalo se tak proto, že obsahuje významná množství imisních zátěží některých kovů, jejich původ může být např. ve zpracování kovů, ve spalovnách odpadů nebo z dopravy (Cu 59 %, Cr 46 %, Mo 40 %, Fe 37 %, Sn 32 %, Sb 69 %, Ba 39 %). U tohoto faktoru není výrazný roční průběh příspěvků, avšak v zimních měsících jsou tyto příspěvky mírně nižší (běžně o 20 %). Na horských stanicích (Jizerka, Souš) byly pozorovány příspěvky tohoto faktoru výrazně nižší než příspěvky na ostatních sledovaných stanicích a to přibližně pětinové. Naznačuje to, že tento zdroj je lokálního původu v oblasti na Tanvaldsku.

Pro **čtvrtý faktor** platí, že je v něm zahrnuto přibližně 15 % lanthanoidů, dále z celkových množství prvků 30 % palladia, 53 % niklu, 33 % vanadu, 45 % india, 32 % stříbra a 29 % cínu. Tyto (i další nevyjmenované) prvky jsou spojovány například z dopravním ruchem, s půdou, metalurgickým průmyslem, spalováním lehkých topných olejů nebo spalováním odpadu. Tomuto spalování také napovídá mírný „u“ profil ročního průběhu příspěvků ke koncentracím. U horských stanic (Souš,

Jizerka) a stanice Desná-SÚS nejsou výrazné rozdíly mezi letní a zimní kampaní, u ostatních stanic zahrnutých v projektu jsou zimní příspěvky oproti letním na těchto lokalitách přibližně dvojnásobné. Obecně vzato jsou na všech lokalitách obdobné. Tyto pozorované skutečnosti vedly k označení tohoto faktoru jako **Pozadí, doprava** (Příloha 6, Obr. 33) a nejsou příliš místně specifické.

Vlastnosti **pátého faktoru** nalezeného metodou PMF napovídají, že pochází z okolí Tanvaldu - příspěvky na dvou horských lokalitách (Souš, Jizerka) jsou oproti ostatním čtyřem lokalitám výrazně nižší. Nazván byl **Zdroj olova** (Příloha 6, Obr. 34), neboť k němu bylo asociováno 66 % celkového množství tohoto toxického prvku. Podle dvouročního časového průběhu příspěvku tohoto faktoru lze říci, že jeho významnost byla až do třetího kvartálu roku 2016 na hranici statistické chyby. V prosinci roku 2016 však došlo k výraznému zvýšení jeho příspěvku. Tento nárůst byl nejvýraznější (a v obdobném rozsahu) na stanicích Desná-SÚS a Tanvald-ELSKLO, o něco nižší (a opět v obdobném rozsahu) na stanicích Tanvald-školka a Tanvald-Popelnice. Ke konci měsíce prosince byl pozorován propad - pravděpodobně v souvislosti s vánočním útlumem výroby. Podle dostupných informací je významným zdrojem sklářský průmysl, který je v této lokalitě hojně zastoupen a protože na všech šesti sledovaných lokalitách byl časový průběh příspěvků tohoto faktoru velice obdobný, lze předpokládat, že zdroj je pouze jeden. Významnost příspěvku tohoto faktoru ke koncentracím aerosolových částic frakce do 10 mikrometrů je nízká (pod 0,05 %), ale přibližně polovinu tohoto množství je tvořeno pouze olovem. Nutno dodat, že maximální (denní) zjištěná koncentrace olova ($300 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) se sice přiblížila k (ročnímu) imisnímu limitu ($500 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$), avšak vzhledem k tomu, že imisní limit je průměrován přes celý kalendářní rok, je zatím pouze třeba dbát zvýšené obezřetnosti a vývoj koncentrací tohoto prvku dále sledovat.

Předposlední **šestý faktor** byl nazván **Eroze půdy, resuspenze** (Příloha 6, Obr. 35). Je jednoznačně popisován vysokou asociací s takzvanými zemními prvky (z celkových množství prvků jsou to obsahy lantanoidů (přibližně 65 %), hliníku 77 %, vápníku 54 %, železa 39 %, barya 22 %, manganu 38 %), ale také s markery dopravy (celkového palladia přiřazeno 35 %, vanadu 42 %, ale také železo, mangan a baryum - viz výše). Všechny sledované stanice vykazovaly obdobný časový průběh tohoto faktoru i výši jeho příspěvku. Typicky byly pozorovány nejvyšší příspěvky v letních měsících a nejnižší v zimních. Proto je dominantní část tohoto faktoru řízena půdní erozí, a menší (dopravní) podíl je tvořen nejspíše resuspenzí silničního prachu.

Poslední **sedmý faktor** identifikovaný pomocí metody PMF byl nazván **Mořský aerosol** (Příloha 6, Obr. 36). Byl pozorován i na jiných lokalitách v ČR s obdobným podílem na hmotnostních koncentracích aerosolových částic PM_{10} a samozřejmě i v jiných zemích světa. Charakteristický je vysokou asociací s výskytem sodíku a hořčíku. Z celkových množství těchto prvků v ovzduší to tvořilo 77 % a 52 % (v uvedeném pořadí). Roční průběh tohoto zdroje nemá patrné maximum ani minimum - vliv je přibližně rovnoměrný po celý rok.

V Tab. 8 jsou shrnuty vypočtené podíly faktorů (zdrojů) na hmotnostních koncentracích aerosolových částic PM_{10} včetně odhadu nejistoty těchto podílů. Tyto výsledky vycházejí z použité chemicko-analytické metody (ICP-MS). V případě použití dalších analytických metod lze předpokládat jen mírné úpravy podílů. Nalezené faktory jsou (viz nízká variabilita v přiřazení klíčových prvků faktorům v příloze) stabilní a především faktory číslo 1 (kadmium), 2 (lokální vytápění), 5 (olovo), 6 (eroze půdy a resuspenze), 7 (mořský aerosol) byly jasně rozeznatelné i při testech s jinými počty zdrojů. Kvalitu výsledku tohoto modelu potvrzuje hodnota poměru výsledné ku předpokládané objektové funkci Q , která je nižší než 2,0 - a to jak u analytů (všechny nižší než 1,0 s průměrem 0,2), tak u vzorkovacích dnů (všechny nižší než 2,0 a 95 % nižší než 1,0 s průměrem 0,4) (Příloha 6, Obr. 38). Odhad (nerozšířená) nejistoty byl proveden s maximální komplexností - zahrnuje náhodné chyby i chyby modelové (mimovolný přesmyk v určení faktorů při změnách v naměřených koncentracích analytů i robustnost zhodnocená opakovanými výpočty při náhodných podvýchobech z původní sady dat).

Závěr

Statistickou metodou PMF vyvinutou americkými specialisty U.S. EPA pro zjišťování podílů zdrojů na znečištění ovzduší bylo vyhodnocení vzorků odebraných na Tanvaldsku v šesti lokalitách. Řešení bylo zevrubně zkoumáno, a nepotvrdilo se, že by byla nejistota natolik veliká, aby muselo být řešení odmítnuto. Optimální řešení je složeno ze sedmi faktorů (zdrojů). Podle svých složení byly tyto faktory navány *Zdroj kadmia*, *Lokální vytápění*, *Lokální průmysl*, *Pozadí + doprava*, *Zdroj olova*, *Eroze půdy + resuspenze* a *Mořský aerosol*. Číselné vyjádření podílů těchto nalezených faktorů na znečištění ovzduší částicemi PM₁₀ je uvedeno v Tab. 8.

Tab. 8 Podíly faktorů spočtených PMF na hmotnostních koncentracích PM₁₀.

Pořadí faktoru	Název faktoru	Podíl na hmotnostních koncentracích aerosolových částic frakce PM ₁₀ [%]	Odhad nejistoty podílu [%]
1	Zdroj kadmia	5,3	±2,5
2	Lokální vytápění	17,9	±7,7
3	Lokální průmysl	18,4	±8,9
4	Pozadí, doprava	41,8	±8,9
5	Zdroj olova	< 0,05	±3,6
6	Eroze půdy, resuspenze	8,0	±4,5
7	Mořský aerosol	8,5	±6,7

Shrnutí a závěr

Na území obcí Tanvald a Desná byly provedeny dvě měřicí kampaně s cílem zjistit rozsah znečištění ovzduší kadmii a dalšími těžkými kovy a poukázat na možné zdroje kadmia. Ke stálé stanici Tanvald-školka přibýly stanice Tanvald-Popelnice, Tanvald-Elsklo a Desná-SÚS. Měření současně probíhalo na stávajících horských stanicích Souš a Jizerka. Měřicí kampaň byla rozdělena na stejně dlouhou letní a zimní část a pokrývala rovnoměrně 86 dní, tedy přibližně čtvrtinu roku.

Nejvyšší průměrné koncentrace kadmia byly naměřeny na stanici Tanvald-Elsklo (Tab. 9) a pak na dalších lokalitách v Tanvaldu a Desné. Naopak nejnižší průměrné i maximální koncentrace byly naměřeny na horských stanicích Souš a Jizerka. Koncentrace na těchto stanicích byly zároveň mnohonásobně nižší, než na stanicích v Tanvaldu. To vylučuje, že by v průběhu měřicí kampaně byly vysoké koncentrace kadmia způsobeny dálkovým transportem (např. z 35 km severozápadním směrem vzdálené elektrárny v polském Turowě).

Tab. 9 Průměrné a maximální koncentrace kadmia [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] naměřené během letní a zimní kampaně.

Léto				zima			
průměr		maximum		průměr		maximum	
Tanvald-Elsklo 24h	9,5	Tanvald-Elsklo 24h	21,3	Tanvald-Elsklo 12h	8,8	Tanvald-Elsklo 12h	66,2
Tanvald-Popelnice	3,8	Tanvald-Elsklo 12h	12,4	Tanvald-Elsklo 24h	7,4	Desná-SÚS	49,4
Tanvald-Elsklo 12h	3,5	Tanvald-školka	11,9	Desná-SÚS	6,4	Tanvald-Elsklo 24h	47,7
Tanvald-školka	3,0	Tanvald-Popelnice	8,4	Tanvald-Popelnice	3,6	Tanvald-školka	37,7
Desná-SÚS	1,1	Souš	2,7	Tanvald-školka	3,4	Tanvald-Popelnice	26,5
Souš	0,6	Desná-SÚS	2,6	Souš	1,2	Souš	6,3
Jizerka	0,1	Jizerka	0,4	Jizerka	0,2	Jizerka	1,4

Nárůst koncentrací kadmia nebyl doprovázen odpovídajícím nárůstem koncentrací PM_{10} , i když během zimní kampaně byla průběh těchto dvou látek v důsledku meteorologických podmínek podobnější.

Největší podobnost časových průběhů koncentrací kadmia vykazovaly během letní kampaně stanice Tanvald-Elsklo a Tanvald-Popelnice a na druhou stranu pak skupina stanic Desná-SÚS, Souš a Jizerka. Tomuto chování by odpovídal zdroj kadmia ležící někde uprostřed mezi těmito dvěma skupinami stanic. Během zimní kampaně vykazovala podobný chod skupina stanic Desná-SÚS, Souš, Tanvald-školka a Tanvald-Popelnice a dále dvojice stanic Tanvald-Elsklo 24h a Jizerka.

Při analýze meteorologie nebylo zjištěno, že by dnům s nízkými, resp. vysokými koncentracemi na stanici Tanvald-školka odpovídaly jiné převažující směry proudění. Pouze dny s nižšími koncentracemi byly charakterizovány vyšší rychlostí proudění. Při tomto hodnocení musíme ale brát v potaz, že v okolí stanic je velmi složitá orografie, která významně ovlivňuje stáčení větru. Navíc může být denní průměr ovlivněn krátkodobou špičkovou koncentrací. Je přitom velmi pravděpodobně, že příspěvky k dennímu průměru nejsou rovnoměrně rozděleny po dobu celého odběru.

Nebyla prokázána významnější vazba mezi denními spotřebami kadmia v PRESIOSA ORNELA, a. s. a změřenými koncentracemi kadmia. Je ale třeba si uvědomit, že spotřeby nemusí mít nutně přímou vazbu k velikosti emise a navíc mají zásadní vliv meteorologické podmínky v době vypouštění převážné části emisí do ovzduší.

Korelační analýza ukázala, že prvek, který se časovým průběhem koncentrací nejvíce podobá kadmiu a zároveň se touto podobností odlišuje od ostatních analytů je selen a to zejména na stanicích Tanvald-školka, Tanvald-Elsklo, Tanvald-Popelnice, Desná-SÚS (léto) a Souš (zima). Na stanicích Jizerka a Souš se takovýto prvek identifikovat nepovedlo.

Analýza metodou PMF identifikovala sedm faktorů charakterizovaných v čase konstantním zastoupením jednotlivých analytů, kterými lze vyjádřit celkovou koncentraci PM₁₀. Jedním z nich je „zdroj kadmia“, v němž je zastoupeno 85 % kadmia a dále 49 % selenu a 35 % chromu. Tento faktor pouze okrajově přispívá k celkové koncentraci PM₁₀, ke které naopak nejvíce přispívají faktory Pozadí a doprava, v zimě srovnatelným způsobem Lokální vytápění, a dále Lokální průmysl.

Na základě uvedených výsledků lze říci, na území obcí Tanvald a Desná leží jeden dominantní zdroj kadmia, který rozhodující měrou přispívá ke koncentracím této znečišťující látky v ovzduší. Tento zdroj se pravděpodobně nachází mezi stanicemi Tanvald-Elsklo a Desná-SÚS. Zároveň je charakteristický tím, že v podobném režimu, jako kadmium emituje selen a částečně také chrom. I s ohledem na prvky používané ve sklářství se lze s vysokou pravděpodobností domnívat, že tímto zdrojem je PRECIOSA ORNELA, a. s.

Na závěr upozorňujeme na studii MUDr. Evy Rychlíkové ze Zdravotního ústavu se sídlem v Ústí nad Labem „*Orientační vyhodnocení zdravotního rizika kovů v aerosolových částicích PM₁₀ v Tanvaldu, Desné a na Souši*“ (datum vydání 15. 5. 2017, č.j. ZUCRX00078015/ZUL6464/2017) zabývající se hodnocením zdravotních rizik souvisejících s imisní zátěží těžkými kovy zpracovanou na základě měření na stanicích Tanvald-školka, Souš a Jizerka v letech 2015–2016.

Poděkování

ČHMÚ tímto děkuje za spolupráci společnosti PRECIOSA ORNELA, a. s., Městskému úřadu Tanvald, Městskému úřadu Desná a Krajskému úřadu Libereckého kraje, který se zároveň podílel na financování měřicích kampaní celkovou částkou 221 tis. Kč.

Seznam zkratek

AIM	Automatický imisní monitoring
As	arsen
Cd	kadmium
CLI	Centrální laboratoř imisí ČHMÚ
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČIŽP	Česká inspekce životního prostředí
GLRD	globální záření
GRV	gravimetrie
h	relativní vlhkost
ICP-MS	hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
IL	imisní limit
ISKO	Informační systém kvality ovzduší
Manuální stanice	Stálý měřicí program využívající manuální analýzy imisních koncentrací. Slouží jako srovnávací metoda.
Ni	nikl
Pb	Olovo
PMF	Positive Matrix Factorization
Se	selen
SSIM	Státní síť imisního monitoringu
SEQ	sekvenční (Leckel SEQ - sekvenční vzorkovač Leckel)
T2m	teplota vzduchu ve 2 m
WD	směr větru v 10 m
WS	rychlost větru v 10 m
ZÚ	Zdravotní ústav

Přílohy

Příloha 1. Emise kadmia v okrese Jablonec nad Nisou

Tab. 10 Emise kadmia z individuálně sledovaných stacionárních zdrojů v okrese Jablonec nad Nisou v roce 2014. Databáze ISKO ČHMÚ.

Obec: Název zdroje	rv_Cd [t.rok ⁻¹]	Zeměpis. šířka [°]	Zeměpis. délka [°]
Desná: PRECIOSA ORNELA, a.s., závod Desná a Polubný	3,44E-03	50,760847	15,316730
Desná: PRECIOSA ORNELA, a.s., závod Příchovice	1,22E-03	50,761762	15,325889
Janov nad Nisou: VITRUM, společnost s ručením omezeným	2,76E-04	50,768228	15,168771
Jiřetín pod Bukovou: Detoa Albrechtice s.r.o.	2,03E-04	50,756188	15,264537
Velké Hamry: GOLEM Velké Hamry, a.s. - MEZIVODÍ	6,33E-05	50,713963	15,319638
Kořenov: Jizerská Pila s.r.o. - Kořenov	4,59E-05	50,770363	15,361028
Rychnov u Jablonce nad Nisou: Antikhaus s.r.o. - Rychnov u Jablonce nad Nisou	3,19E-05	50,683909	15,155893
Jablonec nad Nisou: SPL Jablonec nad Nisou s.r.o. - spalovna nebezpečných odpadů	1,52E-05	50,738920	15,152099
Tanvald: Teplárenství Tanvald s.r.o. - výtopna Výšina	7,11E-06	50,740410	15,297951
Bedřichov: Severočeské vodovody a kanalizace, a.s. - Úpravna vody Bedřichov	4,73E-06	50,785492	15,158183
Desná: Severočeské vodovody a kanalizace, a.s. - Úpravna vody Souš	3,43E-06	50,788248	15,316982
Držkov: Technosklo s.r.o. - Držkov II	2,74E-06	50,689444	15,310556
Rychnov u Jablonce nad Nisou: LIBERECKÉ KOTLÁRNY - Hölter, s.r.o.	1,82E-06	50,683790	15,149789
Jablonec nad Nisou: PAS Jablonec a.s.	9,70E-07	50,717329	15,172799
Desná: Martin Štefánek	6,41E-07	50,764546	15,334899
Rádlo: Rudolf Baňas - Výroba skla	3,28E-07	50,705849	15,129085
Jablonec nad Nisou: Rýnovická energetická s.r.o. - kombinovaný tepelný zdroj	2,16E-07	50,741062	15,147059
Jablonec nad Nisou: TEDOM a.s. divize Motory	1,78E-07	50,742615	15,145167
Jílové u Držkova: Bioplyn Jílové s.r.o.	1,09E-07	50,672222	15,298611
Jablonec nad Nisou: Jablonecká energetická a.s. - Výtopna Brandl	8,82E-08	50,726389	15,147778
Tanvald: Desenská teplárenská společnost s ručením omezeným - Kotelna - Tanvald - Žďár 159	7,66E-08	50,751377	15,314242
Jablonec nad Nisou: SPAR Česká obchodní společnost s.r.o. - INTERSPAR Jablonec nad Nisou	5,79E-08	50,736392	15,159676
Jablonec nad Nisou: Kaufland ČR v.o.s. - Jablonec nad Nisou II	4,72E-08	50,715392	15,159883
Jablonec nad Nisou: Kaufland ČR v.o.s. - Jablonec nad Nisou I.	4,68E-08	50,738930	15,168521
Jablonec nad Nisou: Jablonecká energetická a.s. - Výtopna Rýnovice	3,01E-08	50,739028	15,147889
Jablonec nad Nisou: PRECIOSA, a.s. - závod 06	1,36E-08	50,717305	15,187176
Desná: Desenská teplárenská s.r.o. - kotelna - Desná I	1,06E-08	50,758716	15,303910
Jablonec nad Nisou: Nemocnice Jablonec nad Nisou - Jablonec nad Nisou	8,00E-09	50,724308	15,171077
Jablonec nad Nisou: CIKAUTXO CZ s.r.o.	5,97E-09	50,707195	15,186078
Zásada: PRECIOSA ORNELA a.s., závod Zásada	1,88E-09	50,696695	15,263980
Pěnčín: Skleněná bižuterie a.s. - výroba Alšovice	1,40E-09	50,683737	15,238989
Jablonec nad Nisou: Megatech Industries Jablonec s.r.o.	1,09E-09	50,719372	15,188520
Desná: Jizerská porcelánka s.r.o. - kotelna - Desná	1,00E-09	50,759870	15,302839
Desná: Jizerská porcelánka s.r.o. - pece - Desná	1,00E-09	50,759870	15,302839
Jablonec nad Nisou: Jablonecká energetická a.s. - Jablonec nad Nisou	1,00E-09	50,724308	15,171077
Jablonec nad Nisou: Krajské ředitelství policie Libereckého kraje - Územní odbor Jablonec nad Nisou	1,00E-09	50,724308	15,171077
Jablonec nad Nisou: LIGUM spol. s r.o.	1,00E-09	50,724308	15,171077
Jablonec nad Nisou: PRECIOSA, a.s. - ŘAS, Průmyslová	1,00E-09	50,724308	15,171077
Rychnov u Jablonce nad Nisou: WARMNIS spol. s r.o. - Liberec	1,00E-09	50,683790	15,149789
Tanvald: Teplárenství Tanvald s.r.o. - kotelna - Šumburk	1,00E-09	50,741980	15,314004
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Jirás.nábř712-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Jirás.nábř713-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Jirás.nábř715-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Jirás.nábř717-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Na Vápence761-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Na Vápence762-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078

Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Na Vápence774-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Na Vápence810-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Vaněčkova 407-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Vaněčkova 408-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Vaněčkova 431-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Střední uměleckoprůmyslová škola sklářská - plynová kotelná a sklářská pec	5,36E-10	50,642614	15,251056
Jablonec nad Nisou: UNITHERM, s.r.o.	4,25E-10	50,747158	15,166835
Jablonec nad Nisou: Benteler ČR s.r.o. - Jablonec nad Nisou	4,17E-10	50,739426	15,149139
Tanvald: Masarykova základní škola a OA - Tanvald	4,09E-10	50,737439	15,304387
Jablonec nad Nisou: FK BAUMIT Jablonec, a.s.	3,30E-10	50,715515	15,162545
Železný Brod: Areály JBX a.s. Závod Železný Brod	3,15E-10	50,639528	15,247349
Držkov: Technosklo s.r.o. - Držkov I	2,98E-10	50,687222	15,302500
Plavy: Kumpers Textil s.r.o. - Plavy	2,64E-10	50,701944	15,318889
Jablonec nad Nisou: INTERNATIONAL METAL PLAST spol. s r.o.	2,61E-10	50,699092	15,164002
Jablonec nad Nisou: KOVOHUTĚ HOLDING DT, a.s. - Divize Slévárna Jablonec	2,60E-10	50,746419	15,166170
Jílové u Držkova: BOHEMIA ASFALT, s.r.o. - Obalovna Jílové u Držkova	1,53E-10	50,681464	15,289530
Jablonec nad Nisou: Skleněná bižuterie, a.s. - Jablonec nad Nisou	1,10E-10	50,724531	15,174547
Jablonec nad Nisou: TBG Východní Čechy s.r.o. - Jablonec nad Nisou	4,88E-11	50,716918	15,187169
Jablonec nad Nisou: HZS Libereckého kraje - Jablonec nad Nisou	3,75E-11	50,743228	15,158742
Železný Brod: ESTRELLA ES-PRESS s. r.o. - provozovna Těpeře	3,41E-11	50,658511	15,244466
Železný Brod: ESTRELLA ES-PRESS s.r.o. - provozovna Těpeře	3,41E-11	50,658185	15,243028
okres Jablonec nad Nisou - celkový součet	5,32E-03		

Pozn.: Souřadnice odpovídají průměru souřadnic jednotlivých výdechů. Názvy zdrojů byly převzaty z databáze ISKO ČHMÚ.

Tab. 11 Emise kadmia z individuálně sledovaných stacionárních zdrojů v okrese Jablonec nad Nisou v roce 2015. Databáze ISKO ČHMÚ.

Obec: Název zdroje	rv_Cd [t.rok ⁻¹]	Zeměpis. šířka [°]	Zeměpis. délka [°]
Janov nad Nisou: VITRUM, společnost s ručením omezeným	5,53E-04	50,768228	15,168771
Jiřetín pod Bukovou: Detoa Albrechtice s.r.o.	2,48E-04	50,756188	15,264537
Desná: PRECIOSA ORNELA, a.s., závod Desná a Polubný	2,27E-04	50,760973	15,316943
Desná: PRECIOSA ORNELA, a.s., závod Příchovice	1,99E-04	50,761702	15,325838
Velké Hamry: GOLEM Velké Hamry, a.s. - MEZIVODÍ	5,68E-05	50,713963	15,319638
Rychnov u Jablonce nad Nisou: Antikhaus s.r.o. - Rychnov u Jablonce nad Nisou	3,20E-05	50,683909	15,155893
Kořenov: Jizerská Pila s.r.o. - Kořenov	3,02E-05	50,770363	15,361028
Tanvald: Teplárství Tanvald s.r.o. - výtopna Výšina	2,20E-05	50,740410	15,297951
Bedřichov: Severočeské vodovody a kanalizace, a.s. - Úpravná vody Bedřichov	5,16E-06	50,785492	15,158183
Desná: Severočeské vodovody a kanalizace, a.s. - Úpravná vody Souš	4,02E-06	50,788248	15,316982
Jablonec nad Nisou: PAS Jablonec a.s.	3,06E-06	50,717329	15,172799
Rychnov u Jablonce nad Nisou: LIBERECKÉ KOTLÁRNY - Hölter, s.r.o.	2,94E-06	50,683790	15,149789
Držkov: Technosklo s.r.o. - Držkov II	2,38E-06	50,689444	15,310556
Jablonec nad Nisou: SPL Jablonec nad Nisou s.r.o. - spalovna nebezpečných odpadů	1,59E-06	50,738920	15,152099
Frýdštejn: Roudenská zemědělská a.s. - Frýdštejn - Roudný	6,41E-07	50,637044	15,154538
Rádlo: Rudolf Bañas - Výroba skla	4,32E-07	50,705849	15,129085
Jablonec nad Nisou: TEDOM a.s. divize Motory	2,96E-07	50,742615	15,145167
Jablonec nad Nisou: Gymnázium, Jablonec nad Nisou, U Balvanu 16, p.o.	2,30E-07	50,724308	15,171077
Jablonec nad Nisou: Rýnovická energetická s.r.o. - kombinovaný tepelný zdroj	2,19E-07	50,741062	15,147059
Desná: Martin Štefánek	1,34E-07	50,764546	15,334899
Jílové u Držkova: Bioplyn Jílové s.r.o.	1,09E-07	50,672222	15,298611
Jablonec nad Nisou: Jablonecká energetická a.s. - Výtopna Brandl	9,83E-08	50,726389	15,147778
Jablonec nad Nisou: Kaufland ČR v.o.s. - Jablonec nad Nisou II	8,79E-08	50,715392	15,159883
Jablonec nad Nisou: Kaufland ČR v.o.s. - Jablonec nad Nisou I.	8,77E-08	50,738930	15,168521

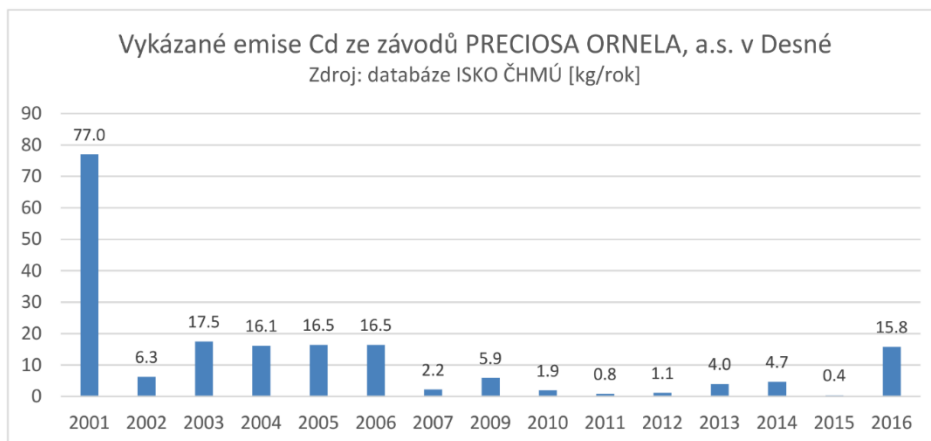
Měřicí kampaň a identifikace zdrojů kadmia na Tanvaldsku v létě 2016 a zimě 2016/2017
Zpráva ČHMÚ ev. č. TD000101 ze dne 24. května 2017 (rev. 1)

Tanvald: ČEZ Energo - kogenerační jednotka Tanvald	8,67E-08	50,740438	15,297689
Tanvald: Desenská teplárenská společnost s ručením omezeným - Kotelna - Tanvald - Žďár 159	7,49E-08	50,751377	15,314242
Jablonec nad Nisou: PRECIOSA, a.s. - závod 06	1,94E-08	50,717305	15,187176
Jablonec nad Nisou: Nemocnice Jablonec nad Nisou - Jablonec nad Nisou	1,92E-08	50,729758	15,158803
Jablonec nad Nisou: AHOLD Czech Republic, a.s. - Jablonec, Želivského 5050/2	1,21E-08	50,735611	15,160264
Desná: Desenská teplárenská s.r.o. - kotelna - Desná I	1,00E-08	50,758716	15,303910
Jablonec nad Nisou: CIKAUTXO CZ s.r.o.	7,65E-09	50,707195	15,186078
Jablonec nad Nisou: Jablonecká energetická a.s. - Z4	3,00E-09	50,733362	15,194332
Zásada: PRECIOSA ORNELA a.s., závod Zásada	2,07E-09	50,696695	15,263980
Jablonec nad Nisou: Jablonecká energetická a.s. - Z8	2,00E-09	50,736537	15,165881
Pěnčín: Skleněná bižuterie a.s. - výroba Alšovice	1,39E-09	50,683737	15,238989
Jablonec nad Nisou: Megatech Industries Jablonec s.r.o.	1,29E-09	50,719372	15,188520
Desná: Jizerská porcelánka s.r.o. - kotelna - Desná	1,00E-09	50,759870	15,302839
Jablonec nad Nisou: Jablonecká energetická a.s. - Jablonec nad Nisou	1,00E-09	50,724308	15,171077
Jablonec nad Nisou: Jablonecká energetická a.s. - Z9	1,00E-09	50,736537	15,165881
Jablonec nad Nisou: Jablonecká energetická a.s. - Z9a	1,00E-09	50,736537	15,165881
Jablonec nad Nisou: LIGUM spol. s r.o.	1,00E-09	50,724308	15,171077
Jablonec nad Nisou: PRECIOSA, a.s. - ŘAS, Průmyslová	1,00E-09	50,724308	15,171077
Rychnov u Jablonce nad Nisou: WARMNIS spol. s r.o. - Liberec	1,00E-09	50,683790	15,149789
Tanvald: Masarykova základní škola a OA - Tanvald	1,00E-09	50,737353	15,305854
Tanvald: Teplárenství Tanvald s.r.o. - kotelna - Šumburk	1,00E-09	50,741980	15,314004
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Jirás.nábř712-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Jirás.nábř713-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Jirás.nábř714-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Jirás.nábř715-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Jirás.nábř717-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Na Vápence761-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Na Vápence762-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Na Vápence810-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Příčná 350 - Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Vaněčkova 407-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Vaněčkova 408-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Teplo města Železný Brod s.r.o. - Vaněčkova 431-Železný Brod	1,00E-09	50,642740	15,254078
Železný Brod: Střední uměleckoprůmyslová škola sklářská - plynová kotelna a sklářská pec	9,91E-10	50,642614	15,251056
Jablonec nad Nisou: UNITHERM, s.r.o.	4,94E-10	50,747158	15,166835
Jablonec nad Nisou: UNITHERM Group, a.s.	4,84E-10	50,746802	15,165066
Jablonec nad Nisou: Benteler ČR s.r.o. - Jablonec nad Nisou	4,68E-10	50,739426	15,149139
Železný Brod: ESTRELLA ES-PRESS s. r.o. - provozovna Těpeře	4,34E-10	50,658511	15,244466
Jablonec nad Nisou - Mšeno nad Nisou: KOVOHUTĚ HOLDING DT, a.s. - Divize Slévárna Jablonec	3,47E-10	50,746419	15,166170
Držkov: Technosklo s.r.o. - Držkov I	3,15E-10	50,687222	15,302500
Jablonec nad Nisou: INTERNATIONAL METAL PLAST spol. s r.o.	2,78E-10	50,699092	15,164002
Jablonec nad Nisou: HZS Libereckého kraje - Jablonec nad Nisou	1,95E-10	50,743228	15,158742
Jablonec nad Nisou: A.RAYMOND JABLONEC s.r.o.	1,88E-10	50,744036	15,150046
Jílové u Držkova: BOHEMIA ASFALT, s.r.o. - Obalovna Jílové u Držkova	1,86E-10	50,681464	15,289530
Jablonec nad Nisou: Skleněná bižuterie, a.s. - Jablonec nad Nisou	1,12E-10	50,724531	15,174547
Jablonec nad Nisou: TBG Východní Čechy s.r.o. - Jablonec nad Nisou	5,96E-11	50,716918	15,187169
okres Jablonec nad Nisou - celkový součet	1,39E-03		

Pozn.: Souřadnice odpovídají průměru souřadnic jednotlivých výduchů. Názvy zdrojů byly převzaty z databáze ISKO ČHMÚ.

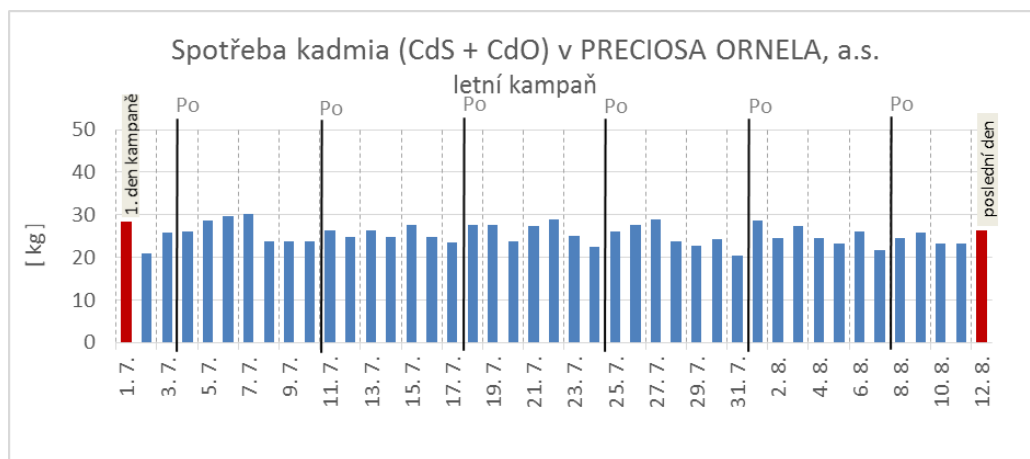
Tab. 12 Emise kadmia a selenu z lokálního vytápění v základních územních jednotkách v letech 2014 a 2015.
Databáze ISKO ČHMÚ.

2014			2015		
Název ZUJ	Cd [t.rok ⁻¹]	Se [t.rok ⁻¹]	Název ZUJ	Cd [t.rok ⁻¹]	Se [t.rok ⁻¹]
Jablonec nad Nisou	4,08E-05	1,07E-04	Jablonec nad Nisou	4,36E-05	1,13E-04
Pěnčín	2,26E-05	7,35E-05	Pěnčín	2,40E-05	7,74E-05
Železný Brod	2,06E-05	5,91E-05	Železný Brod	2,19E-05	6,22E-05
Velké Hamry	1,91E-05	6,02E-05	Velké Hamry	2,03E-05	6,33E-05
Tanvald	1,76E-05	4,82E-05	Tanvald	1,87E-05	5,08E-05
Smržovka	1,63E-05	4,51E-05	Smržovka	1,73E-05	4,76E-05
Desná	1,41E-05	3,99E-05	Desná	1,51E-05	4,23E-05
Malá Skála	1,24E-05	3,54E-05	Malá Skála	1,31E-05	3,71E-05
Frýdštejn	1,11E-05	2,93E-05	Frýdštejn	1,20E-05	3,12E-05
Kořenov	1,09E-05	2,65E-05	Kořenov	1,17E-05	2,83E-05
Rychnov u Jablonce nad Nisou	1,09E-05	2,45E-05	Rychnov u Jablonce nad Nisou	1,16E-05	2,59E-05
Janov nad Nisou	1,07E-05	3,01E-05	Janov nad Nisou	1,14E-05	3,17E-05
Koberovy	1,03E-05	2,97E-05	Koberovy	1,10E-05	3,13E-05
Plavy	9,80E-06	2,99E-05	Plavy	1,05E-05	3,15E-05
Jenišovice	9,00E-06	2,60E-05	Jenišovice	9,70E-06	2,76E-05
Josefův Důl	8,90E-06	2,17E-05	Josefův Důl	9,50E-06	2,29E-05
Zásada	8,40E-06	2,56E-05	Zásada	8,90E-06	2,69E-05
Zlatá Olešnice	8,30E-06	2,21E-05	Zlatá Olešnice	8,90E-06	2,34E-05
Nová Ves nad Nisou	7,90E-06	2,62E-05	Nová Ves nad Nisou	8,60E-06	2,80E-05
Lučany nad Nisou	7,70E-06	1,86E-05	Lučany nad Nisou	8,30E-06	1,97E-05
Skuhrov	7,70E-06	2,36E-05	Skuhrov	8,30E-06	2,50E-05
Držkov	6,00E-06	1,83E-05	Držkov	6,50E-06	1,95E-05
Pulečný	4,70E-06	1,10E-05	Pulečný	5,00E-06	1,17E-05
Rádlo	4,50E-06	9,50E-06	Rádlo	4,80E-06	1,01E-05
Jílové u Držkova	3,50E-06	9,90E-06	Jílové u Držkova	3,80E-06	1,05E-05
Loužnice	3,40E-06	1,11E-05	Loužnice	3,60E-06	1,16E-05
Bedřichov	3,00E-06	6,00E-06	Bedřichov	3,40E-06	6,60E-06
Líšný	2,90E-06	9,30E-06	Líšný	3,00E-06	9,70E-06
Radčice	2,30E-06	6,80E-06	Maršovice	2,50E-06	7,30E-06
Maršovice	2,20E-06	6,60E-06	Radčice	2,40E-06	7,10E-06
Albrechtice v Jizerských horách	1,90E-06	4,60E-06	Albrechtice v Jizerských horách	2,00E-06	4,90E-06
Vlastiboř	1,90E-06	5,80E-06	Vlastiboř	2,00E-06	6,10E-06
Jiřetín pod Bukovou	1,30E-06	4,20E-06	Jiřetín pod Bukovou	1,40E-06	4,40E-06
Dalešice	1,20E-06	2,10E-06	Dalešice	1,30E-06	2,30E-06
okres Jablonec nad Nisou - celkový součet	3,24E-04	9,08E-04	okres Jablonec nad Nisou - celkový součet	3,46E-04	9,59E-04

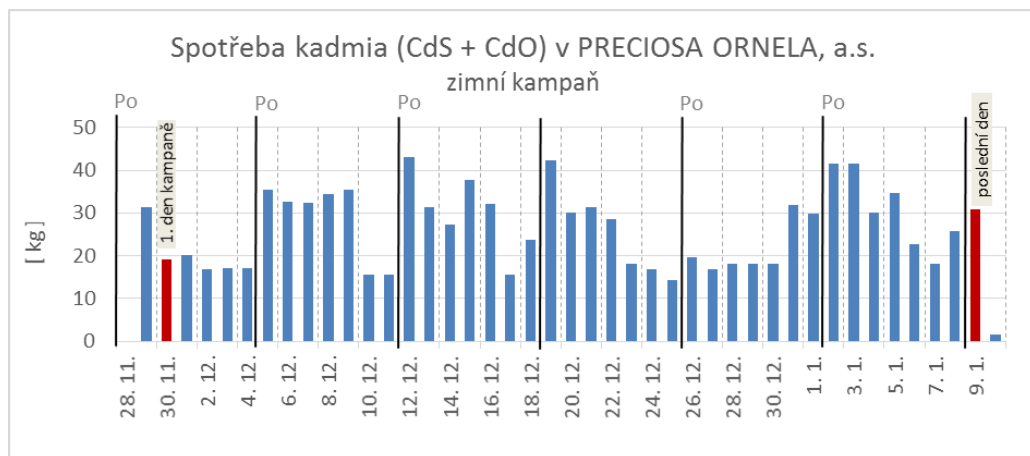


Obr. 27 Vykázané emise kadmia ze závodů PRECIOSA ORNELA, a. s. v Desné v letech 2001–2016.

Příloha 2. Spotřeby kadmia v PRECIOSA ORNELA, a. s.



Obr. 28 Spotřeba kadmia v PRECIOSA ORNELA, a. s. během letní kampaně (jen CdS; spotřeba CdO byla v uvedených dnech nulová).



Obr. 29 Spotřeba kadmia v PRECIOSA ORNELA, a. s. během zimní kampaně.

Příloha 3. Prvky používané k barvení skla

Tab. 13 Prvky používané k barvení skla (zdroj: Ing. Renáta Beranová z ČIŽP).

Barva	Prvky
Modrá	Co, oxid
Akvamarín	CuO
Zelená	Dvojjchroman draselný, Cu
Ambr	Fe ₂ O ₃ , S, grafit nečeří se antimonem ale sulfátem
Citrín	Ti, Ce
Rubín	Se, Sb, Zn
Červená	Au
Fialová světlá	Ne
Fialová - tmavá	Mn (nesmí přijít Sb)
Kouř	Ni
Ametyst	Mn
Aquamarín	Co, Cu
Černá	burel MnO ₂ , Cr
Kouřová šedá	Fe ₂ O ₃ , NiO, CuO, MnO
Ametyst	MnO
Montan safír	Fe ₂ O ₃ , NiO, CuO, CoO
Safír	CoO
Akvamarin	CoO, CuO
Peridot	Fe ₂ O ₃ , CuO, Cr ₂ O ₃
Emerald	CuO, Cr ₂ O ₃
Olivín	Fe ₂ O ₃ , MnO, Cr ₂ O ₃
Jonkvil	CeO ₂ , TiO ₂
Kouřový topas	Fe ₂ O ₃ , MnO, CeO ₂
Topas	Fe ₂ O ₃ , mouka, síra
Roza	zlato
Rubín, granát	CdS + Se
Žlutá	Cd
Oranžová	Cd + Se
Růžová	Se

Příloha 4. Podrobné výsledky těžkých kovů s imisním limitem - letní kampaň

Zvýrazněny jsou denní koncentrace přesahující hodnotu ročního imisního limitu.

Tab. 14 Koncentrace těžkých kovů s IL - letní kampaň (Jizerka, Souš, Desná-SÚS).

	Jizerka				Souš				Desná-SÚS			
	Cd	As	Ni	Pb	Cd	As	Ni	Pb	Cd	As	Ni	Pb
roční IL [ng.m ⁻³]	5	6	20	500	5	6	20	500	5	6	20	500
1. 7. 2016	0,1	0,2	0,1	1,8	0,3	0,2	0,1	2,3	0,2	0,2	0,2	2,1
3. 7. 2016	0,0	0,1	0,0	0,5	0,0	0,1	0,1	0,8	0,4	0,1	0,1	1,4
5. 7. 2016	0,2	0,4	0,2	1,8	0,5	0,3	0,2	1,4	1,6	0,5	0,3	2,3
7. 7. 2016	0,0	0,2	0,2	0,7	0,0	0,1	0,1	0,6	1,5	0,2	0,2	1,9
9. 7. 2016	0,0	0,2	0,1	0,8	0,0	0,2	0,2	0,9	0,4	0,1	0,1	0,9
11. 7. 2016	0,3	0,4	0,3	1,6	1,0	0,4	0,3	2,6	1,5	0,4	0,3	1,8
13. 7. 2016	0,2	0,2	0,2	1,0	0,5	0,2	0,2	1,2	1,7	0,4	0,2	2,7
15. 7. 2016	0,0	0,1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,2	0,5	0,5	0,1	0,0	1,5
17. 7. 2016	0,0	0,2	0,1	1,4	0,1	0,5	0,1	1,7	1,3	0,3	0,2	1,7
19. 7. 2016	0,0	0,3	0,2	0,8	0,0	0,2	0,2	0,8	0,1	0,1	0,3	0,9
21. 7. 2016	0,2	1,2	0,3	1,9	0,3	0,8	0,3	2,4	1,2	1,9	0,4	3,3
23. 7. 2016	0,2	0,9	0,4	4,3	0,8	0,8	0,4	4,5	0,8	0,5	0,3	4,4
25. 7. 2016	0,1	1,5	0,2	6,7	0,5	2,2	0,2	10,6	0,4	3,1	0,4	10,4
27. 7. 2016	0,1	0,7	0,2	2,0	0,2	0,4	0,5	2,2	0,7	0,7	0,3	2,1
29. 7. 2016	0,2	0,2	0,0	1,0	0,6	0,2	0,1	1,1	2,1	0,3	0,2	1,6
31. 7. 2016	0,2	0,1	0,0	1,5	0,6	0,1	0,1	1,9	1,1	0,2	0,2	1,7
2. 8. 2016	0,2	0,1	0,0	1,4	2,7	0,3	0,3	2,1	1,9	0,5	0,4	2,4
4. 8. 2016	0,4	0,6	0,4	2,1	1,1	0,3	0,4	1,9	2,6	0,8	0,6	3,2
6. 8. 2016	0,0	0,2	0,1	1,9	0,0	0,1	0,2	2,4	0,3	0,2	0,3	2,4
8. 8. 2016	0,2	0,2	0,3	2,0	0,7	0,3	0,3	2,1	0,6	0,2	0,3	4,5
10. 8. 2016	0,0	0,1	0,1	0,9	0,0	0,1	0,1	0,8	0,2	0,2	0,2	1,4
12. 8. 2016	0,4	0,2	0,2	2,1	2,5	0,4	0,2	4,1	2,5	0,5	0,3	3,7
Průměr	0,1	0,4	0,2	1,8	0,6	0,4	0,2	2,2	1,1	0,5	0,3	2,6
maximum	0,4	1,5	0,4	6,7	2,7	2,2	0,5	10,6	2,6	3,1	0,6	10,4
kdy bylo maximum změřeno	12. 8.	25. 7.	23. 7.	25. 7.	2. 8.	25. 7.	27. 7.	25. 7.	4. 8.	25. 7.	4. 8.	25. 7.

Tab. 15 Koncentrace těžkých kovů s IL - letní kampaň (Tanvald-Elsklo, -školka a -Popelnice).

	Tanvald-Elsklo 24h				Tanvald-Elsklo 12h				Tanvald-školka				Tanvald-Popelnice			
	Cd	As	Ni	Pb	Cd	As	Ni	Pb	Cd	As	Ni	Pb	Cd	As	Ni	Pb
roční IL [ng.m ⁻³]	5	6	20	500	5	6	20	500	5	6	20	500	5	6	20	500
1. 7. 2016	7,9	0,6	4,3	5,4	2,0	0,3	3,0	3,0	1,6	0,4	0,3	3,2	3,5	0,6	0,2	4,8
3. 7. 2016	2,7	0,2	0,3	3,5	1,6	0,3	0,1	5,0	1,3	0,2	0,1	2,1	1,9	0,2	0,0	2,9
5. 7. 2016	13,6	0,9	0,3	5,9	2,1	0,5	0,2	3,3	2,7	0,3	0,2	3,8	6,6	0,7	0,3	5,9
7. 7. 2016	2,8	0,4	0,8	2,5	1,7	0,4	0,8	2,5	0,8	0,2	0,3	2,7	2,2	0,2	0,1	4,5
9. 7. 2016	6,3	0,3	0,3	3,3	2,6	0,2	0,3	3,0	0,5	0,2	0,3	23,8	2,2	0,2	0,1	9,7
11. 7. 2016	8,0	1,1	0,6	11,0	1,3	0,4	0,6	4,0	3,5	1,1	0,4	5,1	2,4	1,6	0,4	3,3
13. 7. 2016	1,5	0,3	0,4	3,1	1,1	0,4	0,4	3,2	0,4	0,2	0,3	1,8	0,8	0,4	0,2	2,6
15. 7. 2016	1,1	0,2	0,6	0,9	0,1	0,1	0,7	0,9	0,5	0,1	0,1	2,1	1,5	0,2	0,1	0,9
17. 7. 2016	21,3	0,7	0,3	2,3	7,0	0,3	0,2	2,1	4,7	0,4	0,2	3,2	8,4	0,6	0,1	3,4
19. 7. 2016	16,9	0,5	0,6	1,5	4,7	0,4	0,6	1,4	1,7	0,2	0,3	1,3	6,2	0,3	0,2	1,2
21. 7. 2016	19,1	1,8	1,9	3,4	12,4	1,1	0,9	2,5	2,5	2,3	0,4	3,3	5,1	1,9	0,4	3,1
23. 7. 2016	7,4	0,5	0,3	4,3	4,5	0,7	1,6	4,6	3,1	1,2	0,5	8,3	4,4	1,2	0,4	13,8
25. 7. 2016	13,6	2,2	0,4	7,9	4,7	1,6	0,7	6,9	2,4	1,7	0,3	8,1	2,6	1,2	0,2	7,9
27. 7. 2016	7,4	0,6	0,3	2,6	5,2	0,6	0,3	2,7	5,3	0,7	0,3	2,4	5,1	0,7	0,1	3,0
29. 7. 2016	20,4	0,8	0,5	2,5	3,8	0,3	0,3	1,7	6,9	0,6	0,3	2,2	6,9	0,7	0,3	2,4
31. 7. 2016	2,9	0,2	0,2	2,1	0,1	0,2	0,1	1,5	0,6	0,2	0,1	1,4	0,2	0,2	1,3	1,2
2. 8. 2016	9,5	0,9	1,3	4,6	8,5	0,7	0,5	5,5	11,9	0,7	0,3	4,3	4,6	0,7	0,2	3,8
4. 8. 2016	5,5	0,7	0,5	3,9	2,3	0,5	0,7	3,6	1,1	0,4	0,4	4,7	2,1	0,5	0,4	4,1
6. 8. 2016	15,6	0,5	0,3	3,5	1,9	0,2	0,3	3,6	3,1	0,3	0,2	8,9	5,4	0,3	0,1	6,8
8. 8. 2016	4,3	0,4	0,5	9,8	1,3	0,3	0,4	4,7	1,1	0,3	0,4	6,5	2,1	0,3	0,3	22,4
10. 8. 2016	15,2	0,4	0,2	12,9	6,9	0,3	0,1	5,8	6,1	0,3	0,3	7,5	6,5	0,2	0,0	18,9
12. 8. 2016	7,1	1,2	0,3	3,3	0,3	1,0	0,5	4,2	3,7	1,3	0,3	2,9	2,6	1,8	0,2	3,2
průměr	9,5	0,7	0,7	4,5	3,5	0,5	0,6	3,4	3,0	0,6	0,3	5,0	3,8	0,7	0,3	5,9
maximum	21,3	2,2	4,3	12,9	12,4	1,6	3,0	6,9	11,9	2,3	0,5	23,8	8,4	1,9	1,3	22,4
kdy bylo maximum změřeno	17. 7.	25. 7.	1. 7.	10. 8.	21. 7.	25. 7.	1. 7.	25. 7.	2. 8.	21. 7.	23. 7.	9. 7.	17. 7.	21. 7.	31. 7.	8. 8.

Příloha 5. Podrobné výsledky těžkých kovů s imisním limitem - zimní kampaň

Zvýrazněny jsou denní koncentrace přesahující hodnotu ročního imisního limitu.

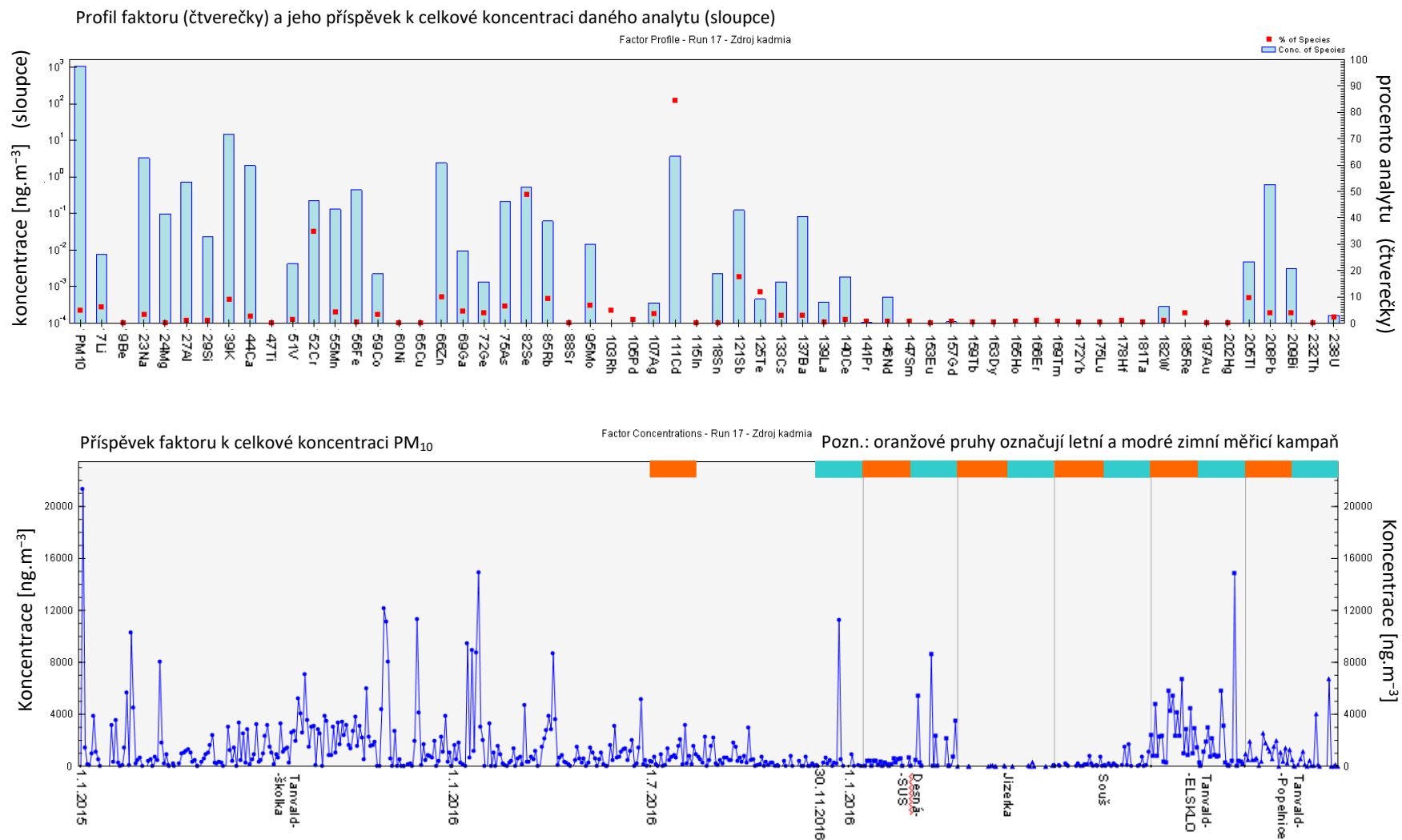
Tab. 16 Koncentrace těžkých kovů s IL - zimní kampaň (Jizerka, Souš, Desná-SÚS).

	Jizerka				Souš				Desná-SÚS			
	Cd	As	Ni	Pb	Cd	As	Ni	Pb	Cd	As	Ni	Pb
roční IL [ng.m ⁻³]	5	6	20	500	5	6	20	500	5	6	20	500
30. 11. 2016	0,0	0,2	0,0	1,3	0,5	1,1	0,3	10,1	3,5	4,1	0,5	137,6
2. 12. 2016	0,0	0,2	0,2	1,2	0,0	0,1	0,1	0,9	0,1	0,3	0,2	10,4
4. 12. 2016	0,1	0,1	0,6	0,8	1,0	1,7	0,1	8,2	3,4	2,2	0,5	46,9
6. 12. 2016	0,0	0,2	0,1	1,4	0,1	0,3	0,2	1,7	26,4	5,3	1,1	196,2
8. 12. 2016	0,2	1,4	0,3	4,1	1,4	2,3	0,3	27,1	2,6	1,8	0,6	54,2
10. 12. 2016	0,1	0,5	0,2	4,3	0,5	1,1	0,2	13,3	1,5	2,1	0,4	90,7
12. 12. 2016	0,1	1,0	0,1	4,5	0,1	1,1	0,1	5,5	0,1	0,7	0,2	4,3
14. 12. 2016	0,0	0,1	0,3	1,1	0,2	0,3	0,9	15,5	1,1	1,0	0,2	89,5
16. 12. 2016	0,1	0,3	0,0	3,8	0,5	1,2	0,5	10,0	1,3	1,5	0,4	60,6
18. 12. 2016	0,5	0,3	0,0	3,1	6,3	2,3	0,1	31,8	49,4	8,7	0,5	295,3
20. 12. 2016	0,0	0,1	0,1	0,7	0,6	1,0	0,3	15,2	2,3	1,9	0,5	92,6
22. 12. 2016	1,4	1,7	0,7	10,4	5,4	3,3	0,2	14,6	9,8	9,4	0,6	83,7
24. 12. 2016	0,0	0,3	0,1	1,1	0,1	0,8	0,0	3,4	0,8	2,1	0,2	54,9
26. 12. 2016	0,0	0,1	0,1	0,5	0,1	0,3	0,0	1,3	0,1	0,5	0,1	22,1
28. 12. 2016	0,0	0,2	0,1	1,2	0,0	0,1	0,0	1,1	0,1	0,6	0,2	2,0
30. 12. 2016	0,0	0,2	0,1	0,9	0,4	1,2	0,1	10,1	0,3	1,0	0,4	11,3
1. 1. 2017	0,4	1,3	0,2	6,0	1,1	3,0	0,3	22,7	17,2	4,5	0,9	97,8
3. 1. 2017	0,0	0,2	0,0	0,7	1,9	0,5	0,0	1,6	1,1	1,2	0,2	39,7
5. 1. 2017	0,0	0,1	0,2	1,5	0,0	0,1	0,0	1,5	0,0	0,2	0,1	3,4
7. 1. 2017	0,2	1,9	0,2	5,6	0,5	2,9	0,2	4,9	3,1	11,1	0,7	17,4
9. 1. 2017	0,2	0,5	0,1	2,7	3,6	1,6	0,2	3,9	11,1	4,2	0,4	12,1
průměr	0,2	0,5	0,2	2,7	1,2	1,2	0,2	9,7	6,4	3,1	0,4	67,7
průměr bez 1.1.	0,2	0,5	0,2	2,5	1,2	1,2	0,2	9,1	5,9	3,0	0,4	66,2
maximum	1,4	1,9	0,7	10,4	6,3	3,3	0,9	31,8	49,4	11,1	1,1	295,3
kdy bylo maximum změřeno	22. 12.	7. 1.	22. 12.	22. 12.	18. 12.	22. 12.	14. 12.	18. 12.	18. 12.	7. 1.	6. 12.	18. 12.

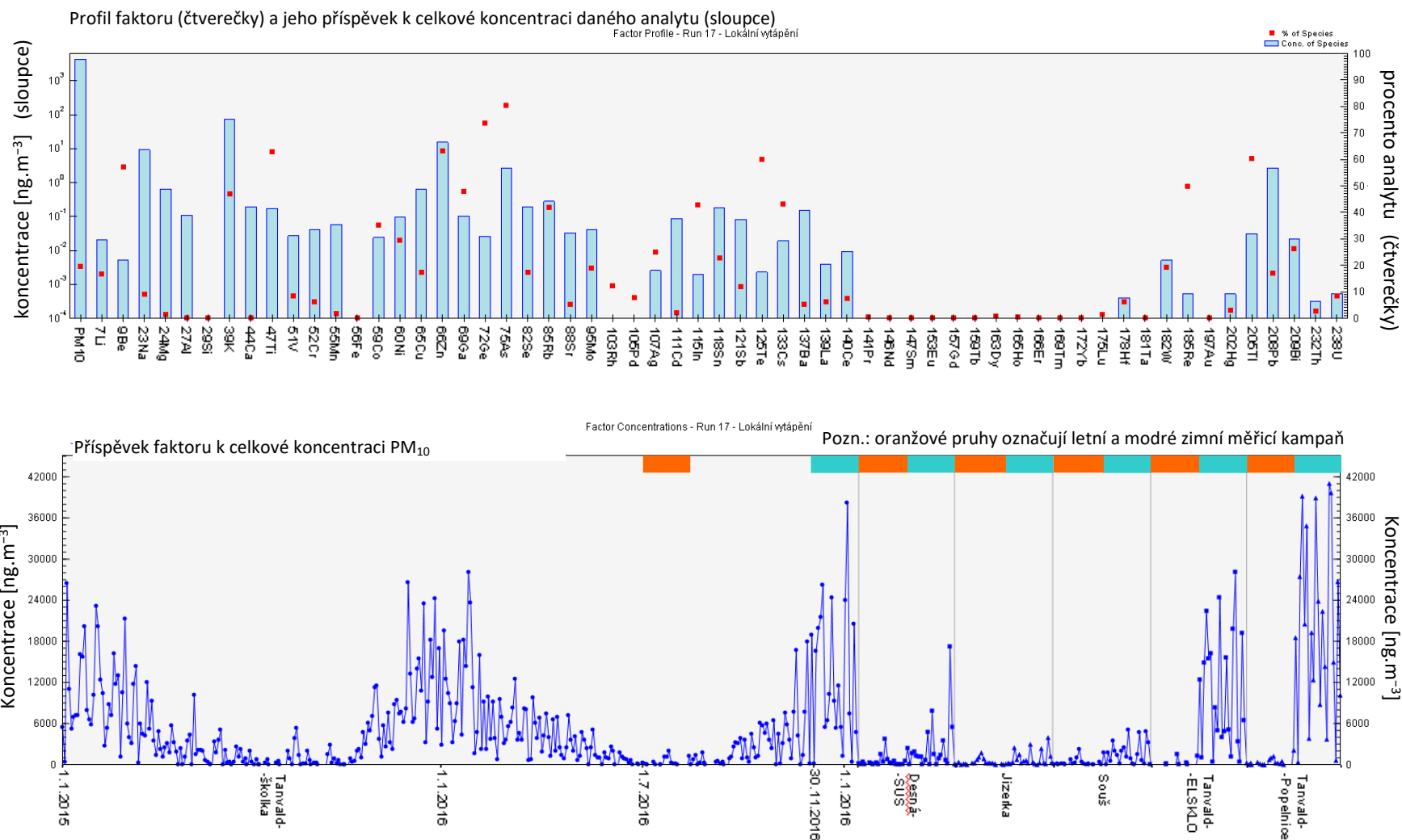
Tab. 17 Koncentrace těžkých kovů s IL - zimní kampaň (Tanvald-Elsklo, -školka a -Popelnice).

	Tanvald-Elsklo 24h				Tanvald-Elsklo 12h				Tanvald-školka				Tanvald-Popelnice			
	Cd	As	Ni	Pb	Cd	As	Ni	Pb	Cd	As	Ni	Pb	Cd	As	Ni	Pb
roční IL [ng.m ⁻³]	5	6	20	500	5	6	20	500	5	6	20	500	5	6	20	500
30. 11. 2016	2,3	10,8	4,5	45,0	0,9	22,3	5,4	17,0	1,2	19,3	0,8	25,6	1,0	21,9	0,9	20,9
2. 12. 2016	0,3	0,8	0,5	2,1	0,2	1,4	0,7	3,0	0,0	0,2	0,2	0,9	0,1	0,6	0,1	1,5
4. 12. 2016	5,8	8,3	4,1	65,2	5,4	13,1	1,3	52,9	1,3	9,1	0,5	50,2	2,2	18,2	0,9	55,3
6. 12. 2016	9,3	16,7	1,4	92,5	11,3	24,5	1,4	42,6	3,2	10,8	0,8	75,5	4,4	26,8	1,3	79,9
8. 12. 2016	12,5	11,6	1,4	107,1	9,9	10,6	1,2	44,2	5,2	11,8	0,8	116,8	6,7	12,2	0,9	96,8
10. 12. 2016	6,4	12,2	0,8	135,9	5,7	13,9	0,9	106,6	2,9	14,1	0,8	91,0	3,2	20,2	1,0	91,4
12. 12. 2016	9,6	3,9	0,7	77,7	14,6	5,1	0,4	83,0	2,8	4,0	0,2	51,1	2,4	4,3	0,3	105,0
14. 12. 2016	4,6	5,5	1,9	55,8	5,8	5,3	1,5	66,0	0,9	4,0	0,4	24,7	2,5	14,1	0,7	30,5
16. 12. 2016	4,6	4,1	4,5	71,5	4,9	7,2	2,2	74,0	2,1	5,7	0,5	41,7	1,6	7,8	0,8	44,0
18. 12. 2016	3,8	15,2	1,3	36,1	1,2	12,3	1,1	16,9	1,4	12,4	0,9	30,8	1,4	21,5	1,3	34,2
20. 12. 2016	22,4	7,7	3,0	169,6	33,6	9,4	3,4	59,9	37,7	9,9	0,8	111,2	14,9	16,1	1,0	71,8
22. 12. 2016	15,1	79,5	9,5	224,9	15,5	49,7	10,1	235,0	4,1	27,7	0,5	100,1	2,5	31,5	0,4	82,2
24. 12. 2016	1,6	10,0	0,5	11,8	1,8	12,3	0,6	16,4	0,4	9,0	0,4	10,0	0,5	18,0	0,6	27,7
26. 12. 2016	1,1	3,7	0,3	7,2	0,3	3,8	0,2	5,0	0,3	3,9	0,2	4,6	0,4	17,6	0,4	10,3
28. 12. 2016	0,9	2,3	2,1	12,7	0,5	1,7	3,9	5,4	0,3	1,0	0,2	7,9	0,7	3,0	0,2	18,4
30. 12. 2016	3,3	11,6	9,7	54,1	3,6	16,3	12,5	48,7	1,6	13,2	0,7	49,4	1,8	28,1	1,4	54,5
1. 1. 2017	47,7	18,8	1,3	128,5	66,2	14,3	1,1	51,1	5,8	20,3	1,2	63,8	26,5	20,7	1,5	74,1
3. 1. 2017	0,1	3,5	1,1	3,2	0,1	1,6	0,3	3,2	0,2	5,4	0,2	4,6	0,3	14,7	0,6	9,8
5. 1. 2017	1,5	0,4	0,1	2,1	2,5	0,6	0,1	2,5	0,1	0,3	0,0	1,5	0,4	0,5	0,1	2,4
7. 1. 2017	1,6	13,3	0,9	12,9	0,7	8,5	0,6	11,0	0,8	14,9	0,8	15,6	1,0	20,9	1,0	18,4
9. 1. 2017	0,7	3,8	5,5	6,5	0,9	4,2	6,4	6,1	0,2	2,4	0,3	6,2	0,4	6,4	0,5	8,7
průměr	7,4	11,6	2,6	63,0	8,8	11,3	2,6	45,3	3,4	9,5	0,5	42,1	3,6	15,5	0,8	44,7
průměr bez 1.1.	5,4	11,2	2,7	59,7	6,0	11,2	2,7	45,0	3,3	9,0	0,5	41,0	2,4	15,2	0,7	43,2
maximum	47,7	79,5	9,7	224,9	66,2	49,7	12,5	235,0	37,7	27,7	1,2	116,8	26,5	31,5	1,5	105,0
kdy bylo maximum změřeno	1. 1.	22. 12.	30. 12.	22. 12.	1. 1.	22. 12.	30. 12.	22. 12.	20. 12.	22. 12.	1. 1.	8. 12.	1. 1.	22. 12.	1. 1.	12. 12.

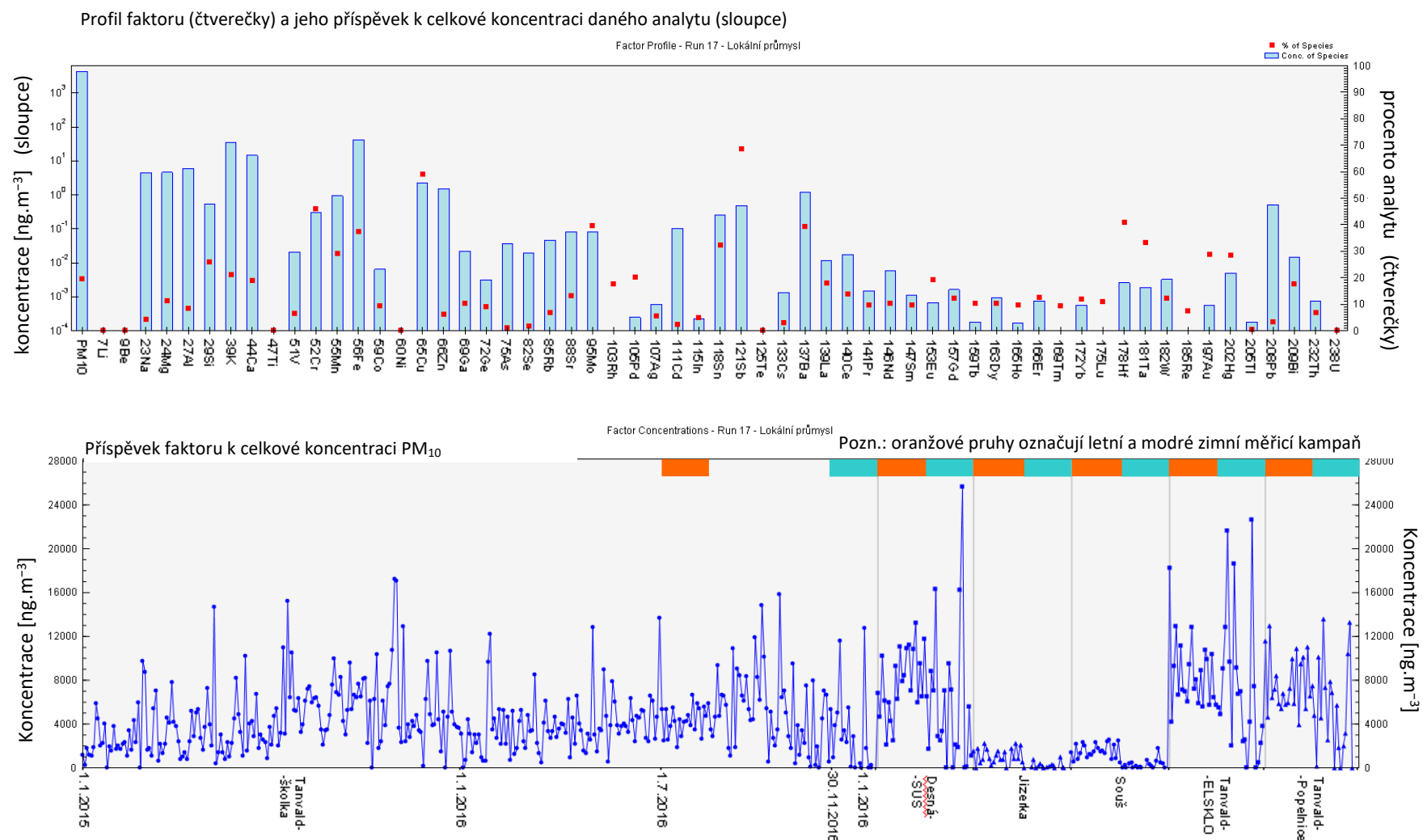
Příloha 6. Výsledky PMF



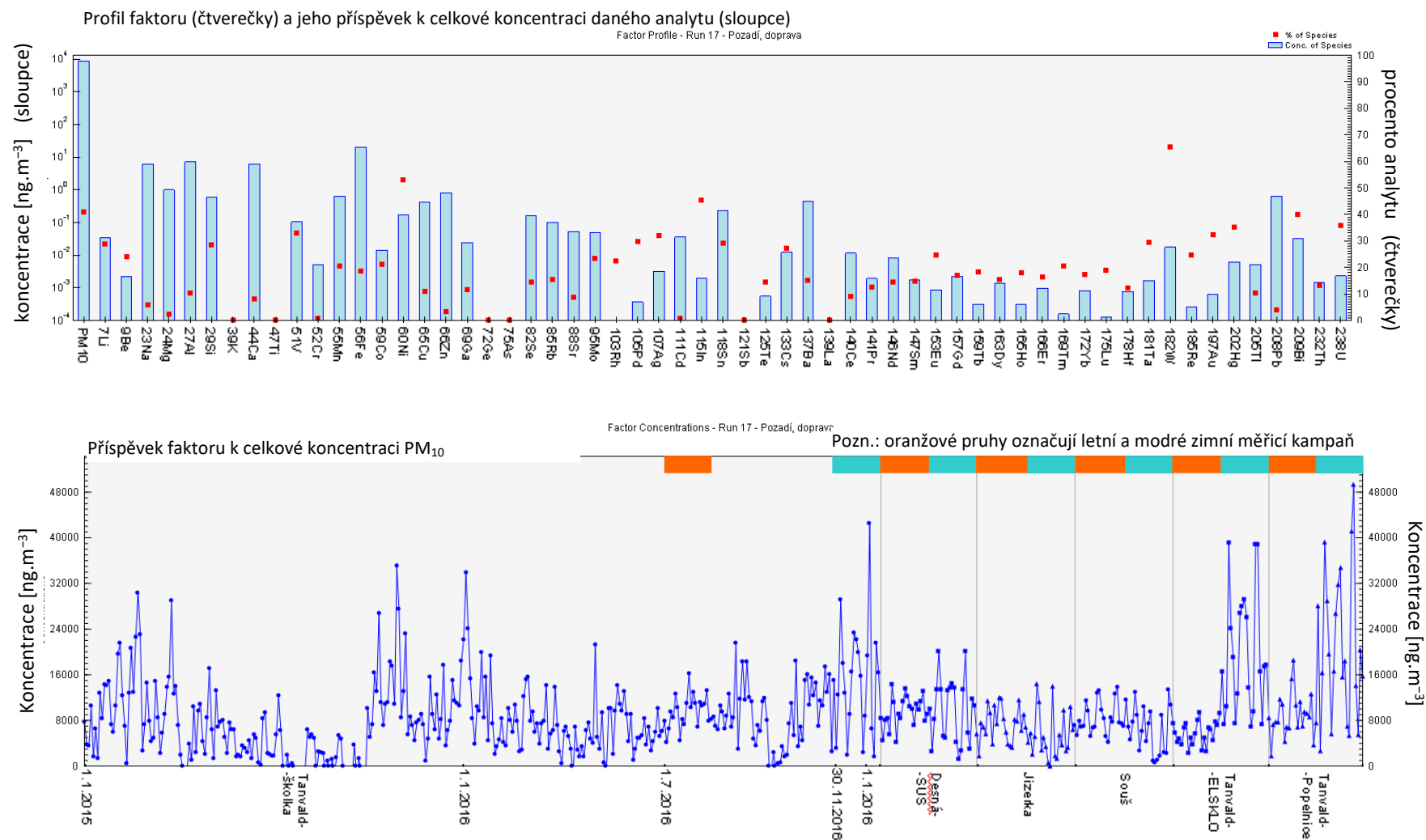
Obr. 30 1. faktor - zdroj kadmia: jeho profil (nahore) a příspěvek k celkové koncentraci PM₁₀ (dole).



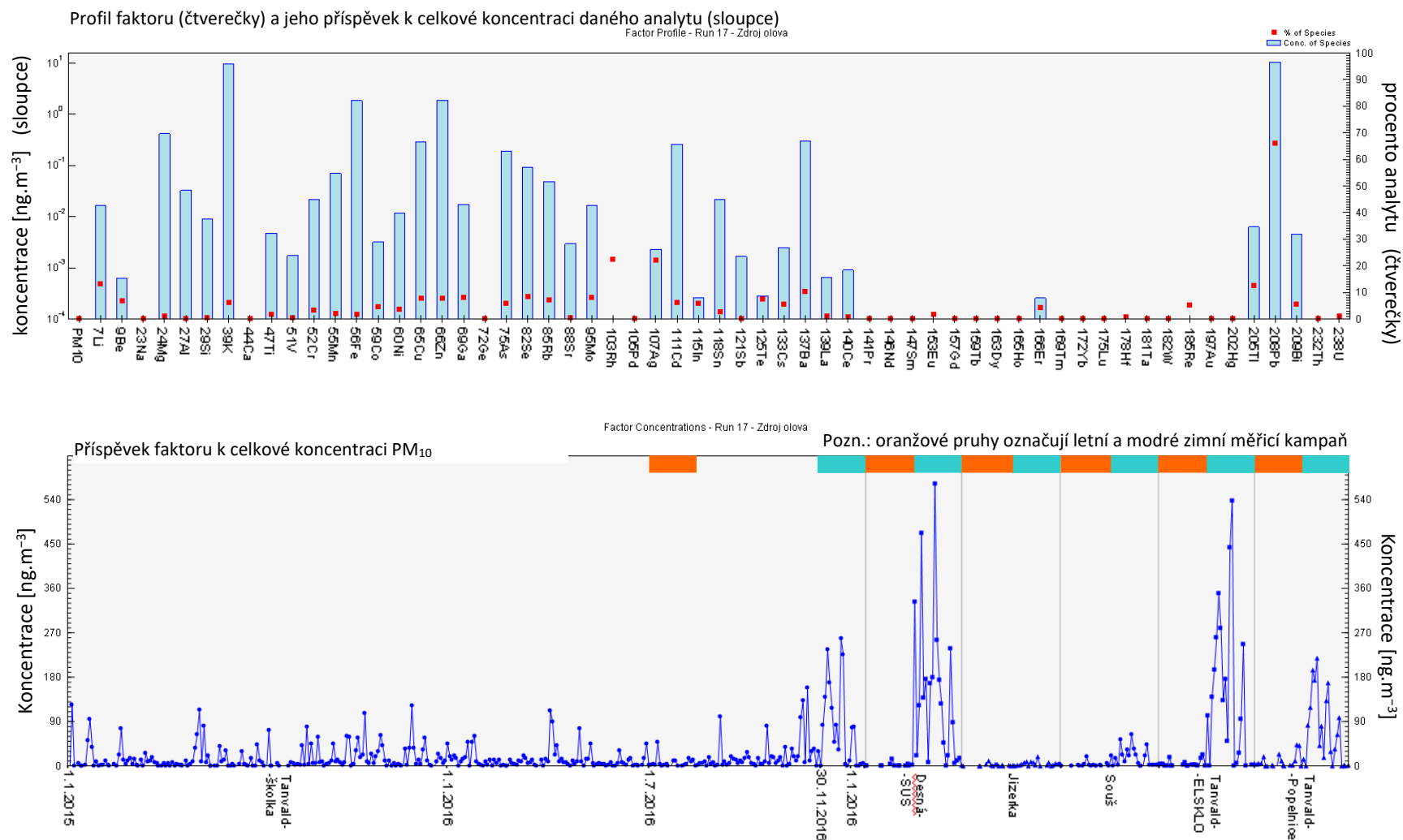
Obr. 31 2. faktor - lokální vytápění: jeho profil (nahore) a příspěvek k celkové koncentraci PM₁₀ (dole).



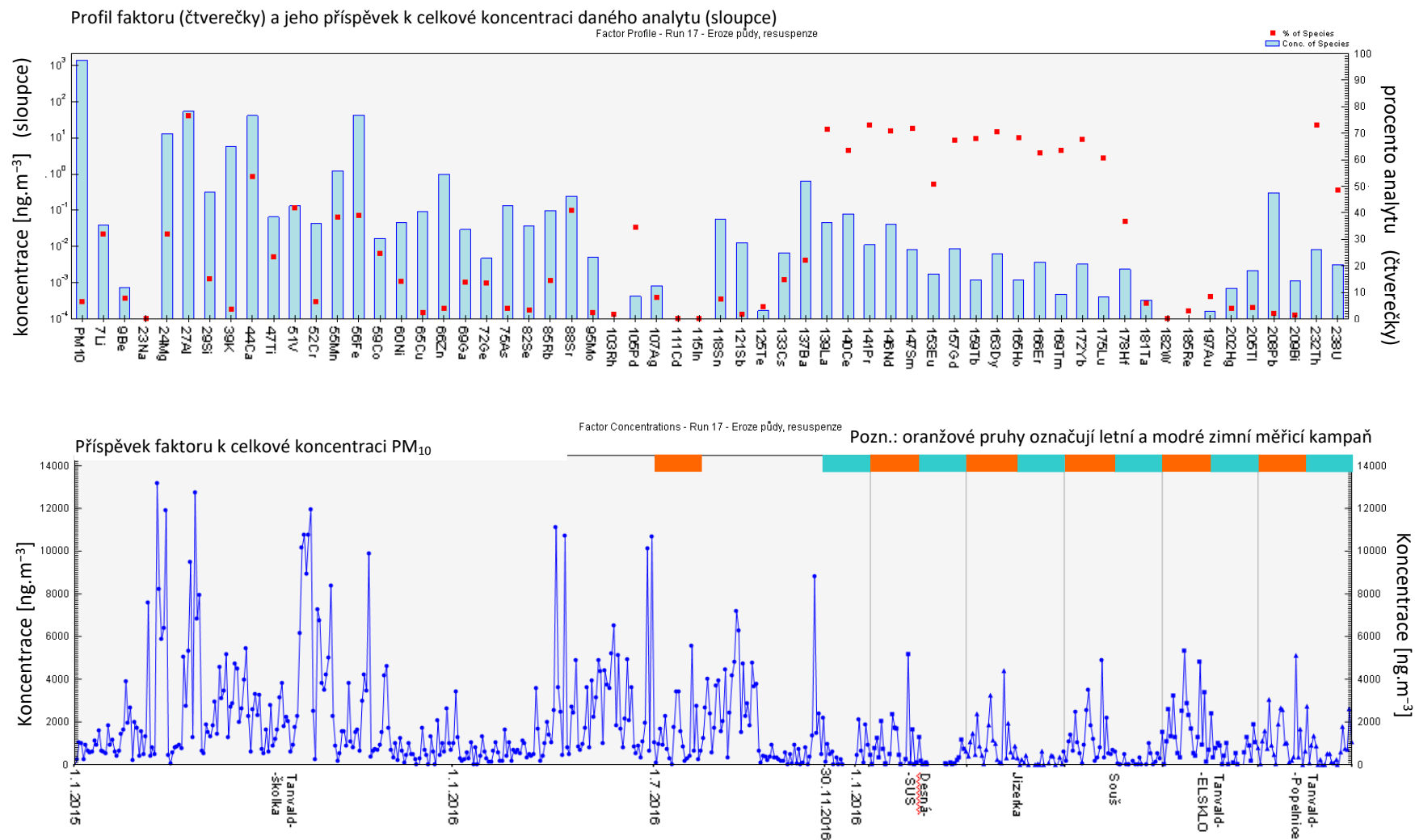
Obr. 32.3. faktor - lokální průmysl: jeho profil (nahore) a příspěvek k celkové koncentraci PM₁₀ (dole).



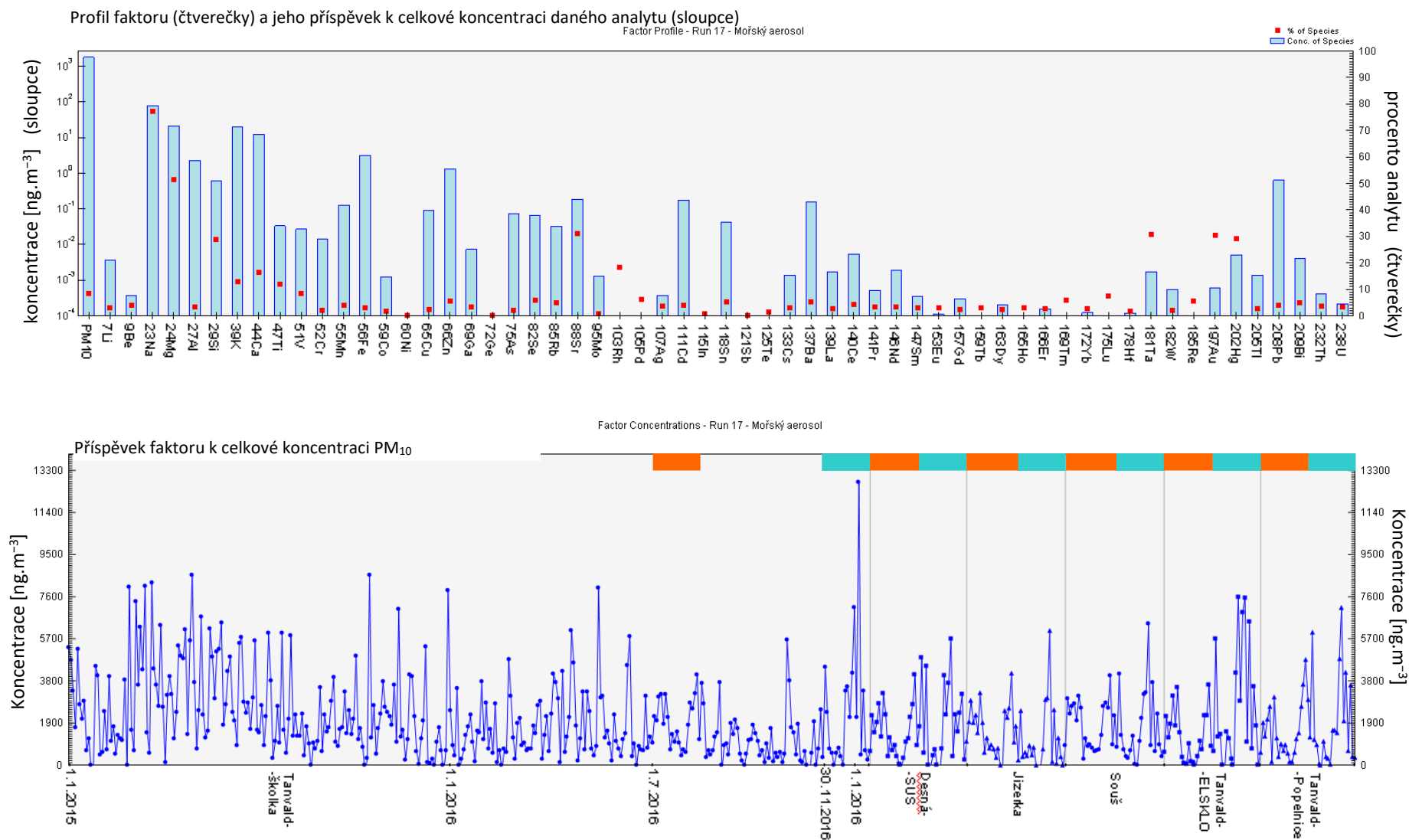
Obr. 33.4. faktor - pozadí a doprava: jeho profil (nahore) a příspěvek k celkové koncentraci PM₁₀ (dole).



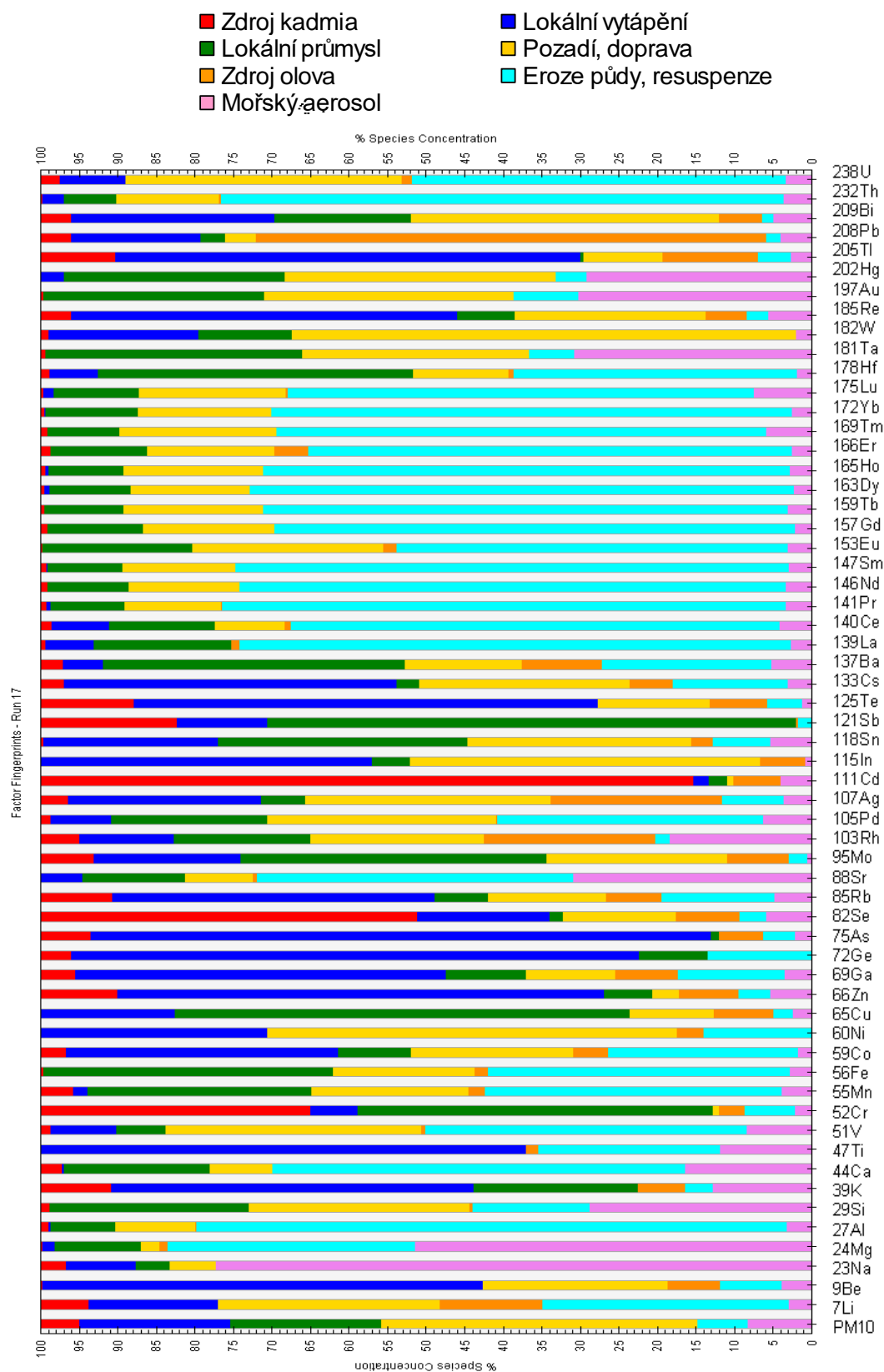
Obr. 34 5. faktor - zdroj olova: jeho profil (nahore) a příspěvek k celkové koncentraci PM₁₀ (dole).



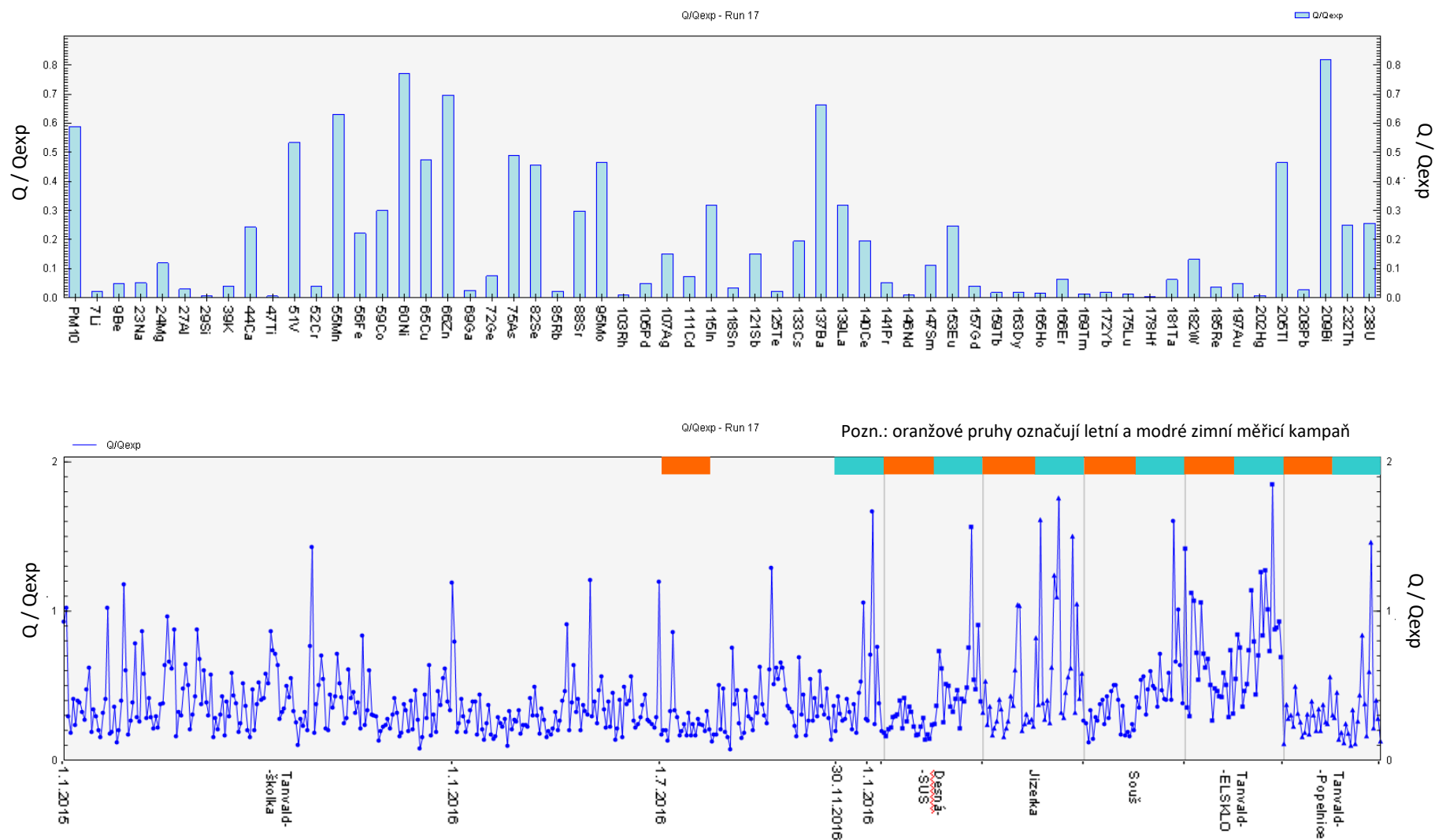
Obr. 35 6. faktor: eroze půdy a resuspenze: jeho profil (nahore) a příspěvek k celkové koncentraci PM₁₀ (dole).



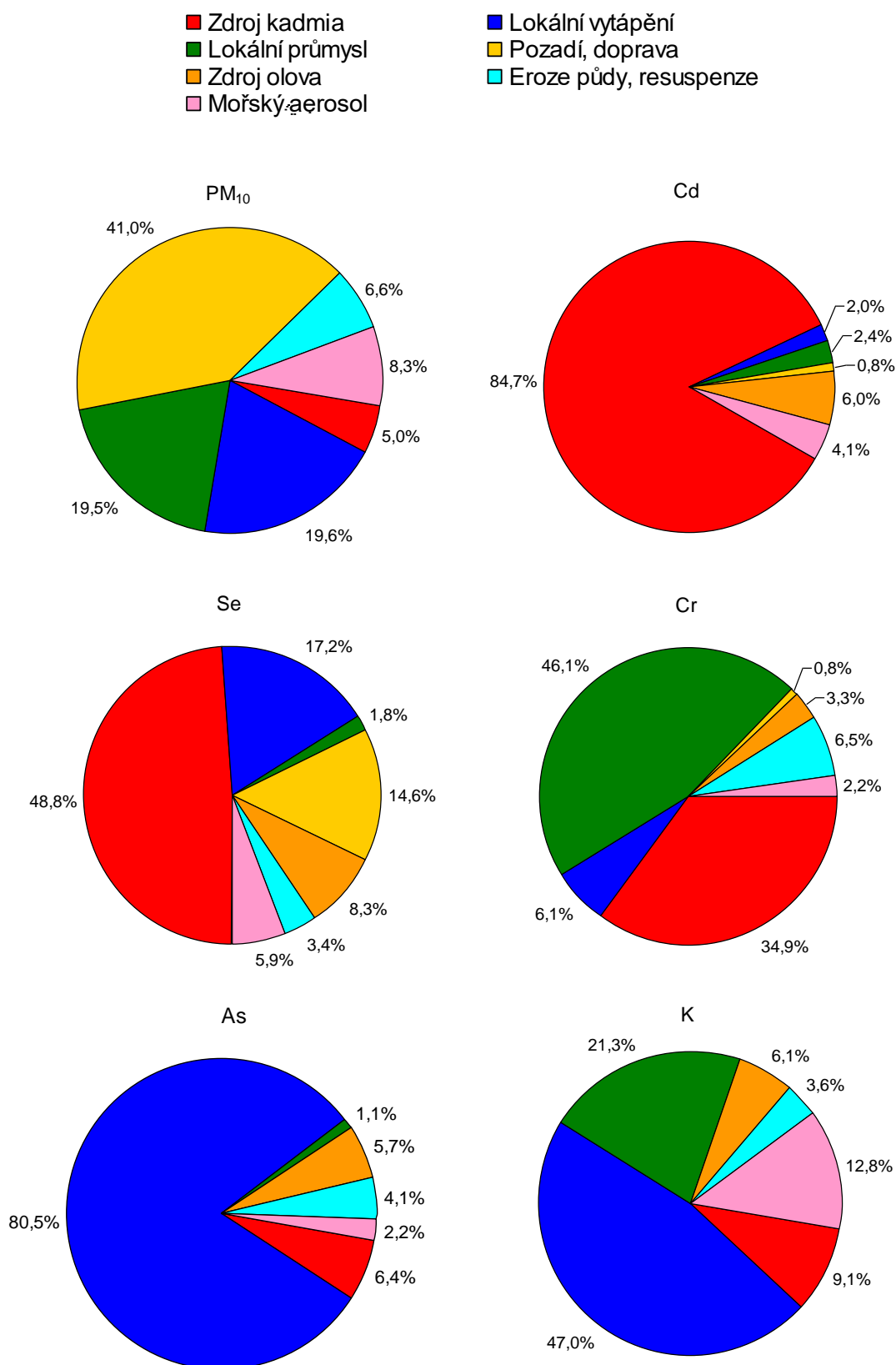
Obr. 36 7. faktor: mořský aerosol: jeho profil (nahore) a příspěvek k celkové koncentraci PM₁₀ (dole).



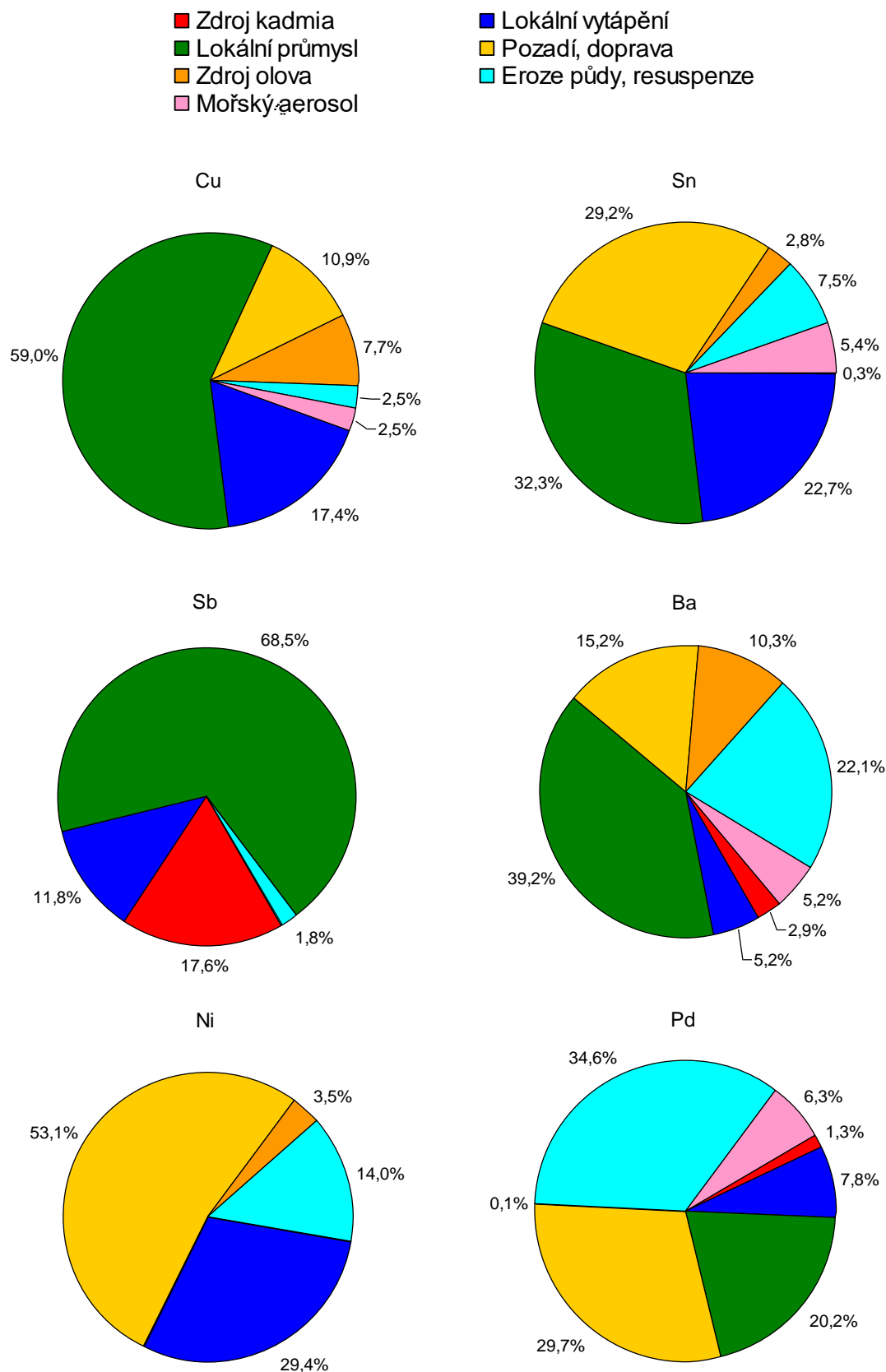
Obr. 37 „Otisky“ profilů faktorů.



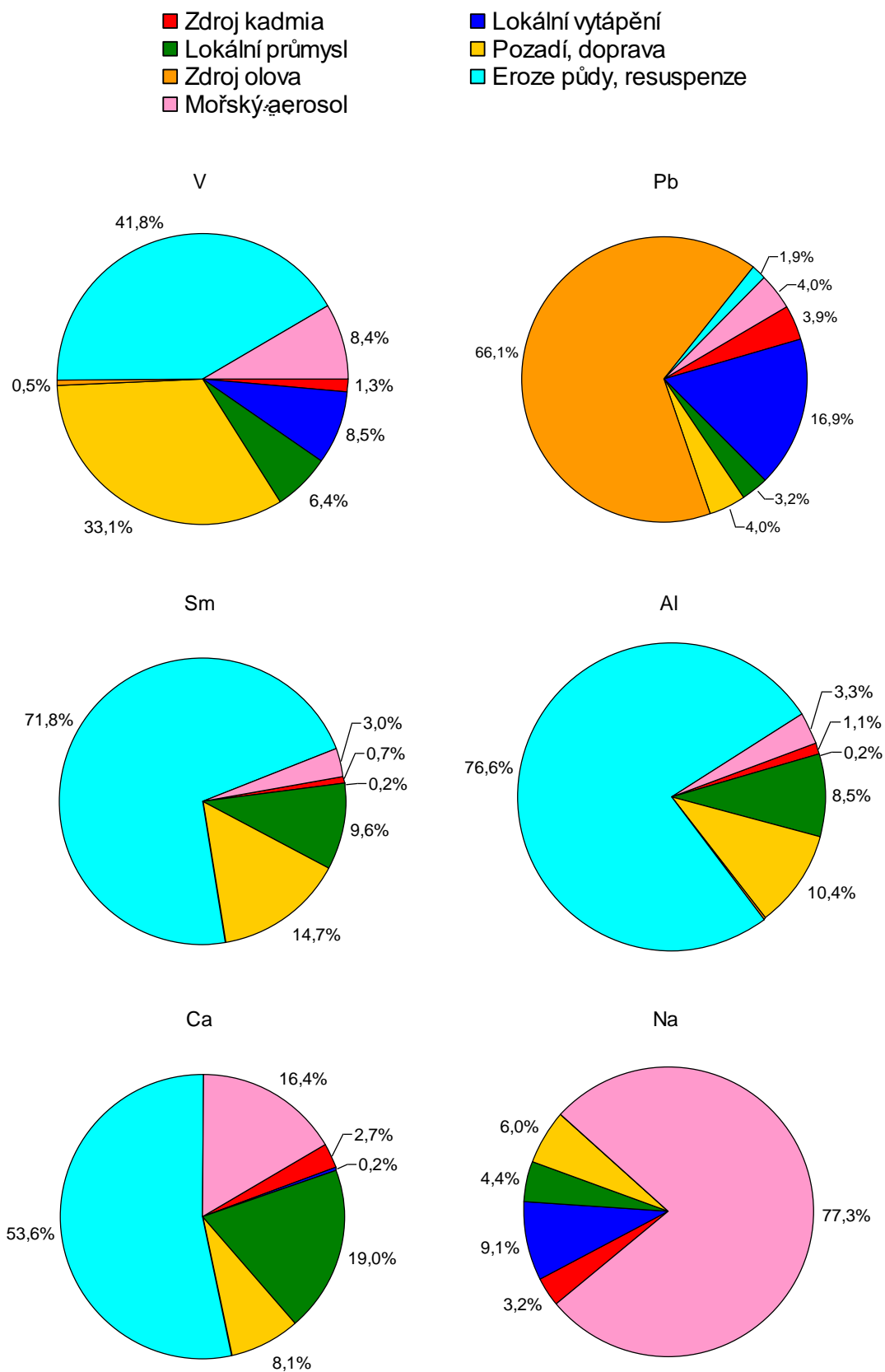
Obr. 38 Podíl nalezené ku očekávané objektivé funkci pro jednotlivé analyty (nahore) a odběrové dny (dole).



Obr. 39 Přiřazení vybraných analytů faktorům (část 1 - PM₁₀, Cd, Se, Cr, As, K).



Obr. 40 Přiřazení vybraných analytů faktorům (část 2 - Cu, Sn, Sb, Ba, Ni, Pd).



Obr. 41 Přiřazení vybraných analytů faktorům (část 3 - V, Pb, Sm, Al, Ca, Na).

Příloha 7. Fotodokumentace



Obr. 42 Zrušená stanice SSIM Tanvald (LTAN) - vlastník Zdravotní ústav. Měření ukončeno 31. 12. 2015.



Obr. 43 Stanice SSIM Souš (LSOU).



Obr. 44 Stanice SSIM Jizerka (LJIZ) - celkový pohled.



Obr. 45 Stanice SSIM Jizerka (LJIZ) - detail.



Obr. 46 Stanice Desná-SÚS - pohled 1.



Obr. 47 Stanice Desná-SÚS - pohled 2.



Obr. 48 Stanice Tanvald-Elšklo - celkový pohled.



Obr. 49 Stanice Tanvald-Elsklo - detail.



Obr. 50 Stanice SSIM Tanvald-školka (LTAS).



Obr. 51 Stanice SSIM Tanvald-školka (LTAS) - detail.



Obr. 52 Stanice Tanvald-Bálovka - celkový pohled.



Obr. 53 Stanice Tanvald-Bálovka - detail.



Obr. 54 Lokalita Tanvald-Popelnice - pohled 1.



Obr. 55 Stanice Tanvald-Popelnice - pohled 2.

Příloha 8. Finanční náklady na kampaň

Celkové náklady na obě kampaně a jejich zpracování činily cca 2,3 mil. Kč. Liberecký kraj přispěl na měření celkovou částkou 221 tis. Kč

Finanční náklady na jednu kampaň - přímé bez osobních nákladů a režii:

Účel	Detailní popis	Celková částka
Pronájem pozemku (městský)	Projednáno na MÚ, co není městské (doporučeno starostou, předjednáno)	0 Kč
Zajištění přípojek (trojfáze apod.)		5 000 Kč
Převoz a instalace vzorkovačů	20 h práce - 880 Kč/hod, 10 000 km - 15 Kč/hod	50 000 Kč
Servis přístrojů	servis starých přístrojů	30 000 Kč
Elektrická energie - měřicí vůz a vzorkovače	Spotřeba elektrické energie na jeden měřicí vůz: 4 000,- Kč / kampaň vzorkovač 1 000,- Kč/vzorkovač/ kampaň	12 000 Kč
Náklady na vzorkování včetně vzorkovače (bez energie)	922,- Kč/vzorkovač /den + odběr 53,- Kč/vzorkovač /den 42 dní jedna kampaň, 21 dní měření 4 vzorkovače	81 900,- Kč
Náklady na MV (měřicí vůz) dle ceníku ČHMÚ	2 630,- Kč/den/auto v případě, že měření je delší než 1 měsíc 42 dní jedna kampaň, 42 dní měření 2 MV	220 920,- Kč
Náklady na laboratorní zpracování vzorků - dle ceníku ČHMÚ	21 dní měření, 4 vzorkovače Gravimetrie + TK (12 prvků) 379,- Kč/den/vzorek	31 836,- Kč
Náklady na laboratorní zpracování vzorků - dle ceníku ČHMÚ	21 dní měření, 6 vzorkovačů, 348 analýz 1 107,- Kč/den/vzorek (TK bez GRV)	192 618,- Kč
Logistika (doprava MV do místa měření) a nutné cesty osobním automobilem pro zajištění výměny vzorků a provoz MV	MV UL - Tanvald a zpět 5 320,- Kč MV - PH - Tanvald a zpět 4 940,- Kč OA 5 cest UL - Tanvald a zpět 12 600,- Kč Odhad vychází z ceníku ČHMÚ	22 860,- Kč
Teflonové filtry nad rámec výše zmíněných pro SEM a XRF	Zatím není znám počet - odhad	20 000,- Kč
SUMA		667 134,- Kč

Finanční náklady na dodatečné vstupy do PMF:

Náklady na laboratorní zpracování vzorků - dle ceníku ČHMÚ	2 roky měření, 1 vzorkovač, 676 analýz 1 160,- Kč/den/vzorek (TK s GRV)	784 160,- Kč
------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------	--------------

Finanční náklady na obě kampaně celkem - osobní a režie:

Lidé, kteří se projektu zúčastní z pobočky Ústí nad Labem	Příprava projektu, jednání 20 h (vědecký pracovník 1 x 8 h, vědecký pracovník 3 x 4 h) Hledání lokalit, jejich zajištění, inspekční cesta s Ing. Žaganovou, jednání na LK 132 h (vědecký pracovník 4 x 8 h, VŠ pracovník 8 x 8 h, 2 SŠ pracovníci 4 x 8 h, 2 SŠ pracovníci 4 x 1 h) Zpracování dat 8 h (VŠ pracovník 1 x 8 h)	109 152,- Kč
Lidé, kteří se projektu zúčastní z pobočky Praha Libuš - MV	1 x VŠ - verifikace dat 1 x SŠ - doprava a spuštění MV 1 x SŠ, 3 x VŠ - gravimetrie a zpracování vzorků TK, verifikace dat (Celkem SŠ 140 h a VŠ 120 h)	122 000,- Kč
Lidé, kteří se projektu zúčastní z OME, OEZ, obs. Tušimice + laboratoř zdrojů (PIZZA)	Zpracování a analýzy dat provedení PMF, příprava zprávy - cca 3 týdny	100 000,- Kč
SUMA		331 152,- Kč