

ZPRÁVA VYHODNOCENÍ REALIZOVANÝCH MĚŘENÍ

Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov

Datum zpracování: 30. 4. 2024

OBSAH

Seznam použitých zkratk	3
Souhrn	4
1 Úvod	5
1.1 Popis projektu	5
1.2 Měření znečišťující látky.....	5
1.2.1 Aerosolové částice	5
2 Metodika	7
2.1 Výběr lokalit.....	7
2.2 Lokality měření.....	8
2.3 Metodika měření.....	10
3 Vyhodnocení	12
3.1 Meteorologické podmínky	12
3.2 Koncentrace aerosolových částic	14
3.2.1 Koncentrace aerosolových částic	14
3.2.1 Koncentrační růžice	25
4 Souměření	35
5 Závěr	39
6 Literatura	41
7 Seznam obrázků	41

Seznam použitých zkratk

PAU	polycyklické aromatické uhlovodíky
PM ₁₀	aerosolové částice s aerodynamickým průměrem menším nebo rovným 10 µm dispergované v ovzduší
PM _{2.5}	aerosolové částice s aerodynamickým průměrem menším nebo rovným 2,5 µm dispergované v ovzduší
PM ₁	aerosolové částice s aerodynamickým průměrem menším nebo rovným 1 µm dispergované v ovzduší

Souhrn

V období srpen 2023 – březen 2024 bylo na 9 lokalitách města Tišnov provedeno měření koncentrací aerosolových částic frakcí PM_{10} , $PM_{2.5}$ a PM_1 , včetně měření meteorologických parametrů na dvou lokalitách. Měření bylo primárně zaměřeno na identifikaci potenciálních zdrojů znečištění ovzduší aerosolovými částicemi ve městě se zacílením na lokální topeniště. K realizaci měření byly využity nízkonákladové měřicí senzory enviDUST, meteorologické parametry byly měřeny jednotkami enviMET. Jednotlivé senzorické jednotky byly umístěny na 9 lokalitách ve městě Tišnov tak, aby co možná nejlépe pokryly plošně území města, zejména však oblasti s očekávaným příspěvkem lokálních topenišť.

Měření prokázala, významný vliv lokálních topenišť na kvalitu ovzduší v zimních měsících, kdy s poklesem teploty vzduchu na jednotlivých sledovaných lokalitách docházelo k navyšování koncentrací aerosolových částic. To se mimo jiné projevilo na rostoucí hodnotě poměru aerosolových částic $PM_{2.5}/PM_{10}$, který slouží jako jeden z indikátorů vlivu spalovacích procesů na kvalitu ovzduší (emise původem ze spalovacích zdrojů vykazují vyšší zastoupení frakce $PM_{2.5}$ než například emise ze zemědělské činnosti či resuspenze při suchém a větrném počasí). Při analýze denního chodu jednotlivých frakcí aerosolových částic byly tyto výsledky rozčleněny na základě ročních období – léto, podzim, zima. Z těchto výsledků vyplynulo, že v průběhu podzimních měsíců a zejména poté v průběhu zimy dochází ve večerních hodinách k výraznému nárůstu koncentrací aerosolových částic. V případě jemnějších frakcí, zejména však frakce PM_1 byl pozorován nárůst koncentrací také v průběhu ranních hodin. Tyto nárůsty opět ukazují na lokální topeniště jako zdroj znečištění aerosolovými částicemi v ovzduší ve městě Tišnov.

Výsledky měření, mimo jiné, ukázaly na možnost uplatnění a aplikace nízkonákladových senzorických jednotek z pohledu identifikace potenciálních zdrojů znečištění ovzduší a k orientačnímu zhodnocení úrovně znečištění na sledované lokalitě. Při realizovaném 40denním souměření s referenční měřicí technikou vykazovaly senzorické jednotky velice dobré výsledky z pohledu měřených koncentrací.

1 Úvod

1.1 Popis projektu

Znečištění ovzduší patří mezi oblasti, kterým je nutné věnovat patřičnou pozornost zejména z důvodu negativních dopadů na zdraví člověka. Kvalitu ovzduší ovlivňuje celá řada faktorů, zejména je to produkce emisí při spalovacích procesech v průmyslu, dopravě, ale i vytápění domácností. Lokální topeniště patří v České republice mezi nejvýznamnější zdroje znečištění ovzduší aerosolovými částicemi (PM) a polycyklickými aromatickými uhlovodíky (PAU) vč. benzo(a)pyrenu přičemž v obou případech se jedná o znečišťující látky se závažnými dopady na zdraví člověka. Domácnosti se podílí na emisích PM_{2.5} z 83,7 % a na emisích benzo(a)pyrenu dokonce z 97 % (ČHMÚ, 2023). Maximální přípustné koncentrace PM₁₀ a benzo(a)pyrenu jsou definovány legislativou, zákonem č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění (MŽP, 2012). Z výše uvedených důvodů jsou koncentrace těchto škodlivin v ovzduší dlouhodobě monitorovány v rámci Sítě státního imisního monitoringu (SSIM) provozované Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ). Tato síť však zdaleka nepokrývá celé území České republiky, ani Jihomoravského kraje. Ve městě Tišnov není provozována ani jedna stanice pro dlouhodobé měření kvality ovzduší. Z tohoto důvodu byl realizován projekt „Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov“, aby bylo možné zjistit koncentrace aerosolových částic frakcí PM₁₀, PM_{2.5} a PM₁ na území města Tišnov.

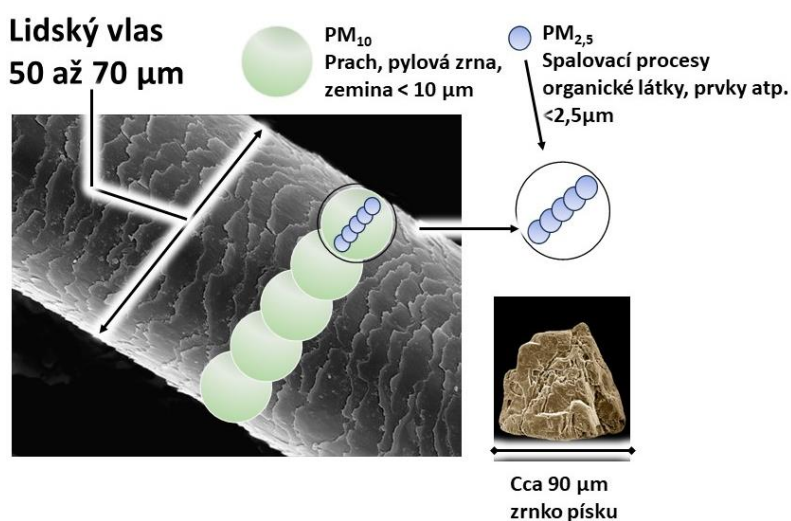
Cílem projektu bylo zjistit koncentrace aerosolových částic frakcí PM₁₀, PM_{2.5} a PM₁ na území města Tišnov, vytipovat oblasti se zvýšenými koncentracemi těchto škodlivin a identifikovat možné zdroje znečištění (lokální topeniště, průmysl, doprava). V rámci řešení projektu byla realizována měření pomocí nízkonákladových senzorických jednotek a to na 8 lokalitách na území města. Měření bylo realizováno v průběhu 8 měsíců (srpen 2023–březen 2024), a to formou nepřerušovaného kontinuálního měření na všech lokalitách.

1.2 Měření znečišťující látky

1.2.1 Aerosolové částice

Aerosolové částice jsou emitovány jak přírodními (např. sopky či prашné bouře), tak i antropogenními (např. elektrárny a průmyslové technologické procesy, doprava, spalování uhlí v domácnostech, spalování odpadu) zdroji. Většina těchto antropogenních emisních zdrojů je soustředěna v urbanizovaných oblastech, tj. v oblastech, ve kterých žije velká část populace (Vojtíšek, 2010).

Z hlediska platné legislativy (MŽP, 2012) jsou v ovzduší sledovány dvě velikostní frakce aerosolových částic. Jedná se o frakci PM₁₀ (suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 10 µm), pro kterou je stanoven denní imisní limit 50 µg·m⁻³ (maximální povolený počet překročení této hodnoty 35x za rok) a roční imisní limit 40 µg·m⁻³, a jemnější frakci PM_{2.5} (suspendované částice venkovního ovzduší s aerodynamickým průměrem do 2,5 µm) s ročním imisním limitem 20 µg·m⁻³. Názorně jsou tyto částice velikostně srovnány s lidským vlasem na Obr. 1.



Obr. 1: Srovnání velikostí částic PM₁₀ a PM_{2,5} s lidským vlasem a zrnkem písku.

Částice o větší velikosti se zachycují v horních cestách dýchacích, do plic nepronikají a jejich koncentrace se proto neměří. Pozornost se naopak zaměřuje k čím dál menším částicím, protože platí, že čím menší průměr částice, tím dále se v lidském těle dostane a tím je pro člověka nebezpečnější. Negativní zdravotní účinky PM₁₀ a PM_{2,5} se projevují již při velmi nízkých koncentracích bez zřejmé spodní hranice bezpečné koncentrace. Zdravotní rizika částic ovlivňuje jejich koncentrace, velikost, tvar a chemické složení. Mohou se podílet na snížení imunity, mohou způsobovat zánětlivá onemocnění plicní tkáně a oxidativní stres organismu. Při chronickém působení mohou způsobovat respirační onemocnění a snižovat funkci plic (Fuzzi et al., 2015).

Emisní inventury PM₁₀ a PM_{2,5} prováděné podle současných metodik zahrnují pouze primární emise těchto látek. Na koncentracích PM₁₀ a PM_{2,5} měřených v ovzduší se přitom významně podílí sekundární aerosolové částice vznikající přímo v ovzduší z plynných prekurzorů fyzikálně-chemickými reakcemi. Podíl sekundárních anorganických aerosolů na celkové koncentraci PM_{2,5} se může v městském prostředí pohybovat mezi 20 a 40 %. Podle modelového odhadu může příspěvek sekundárních organických aerosolů biogenního původu v evropských podmínkách činit 2–4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ PM_{2,5} (ČHMÚ, 2023).

Ve srovnání s emisemi jiných znečišťujících látek jsou emise částic vnášeny do ovzduší z velkého počtu významnějších skupin zdrojů. Kromě zdrojů, ze kterých jsou tyto látky vypouštěny řízeně komíny nebo výduchy (průmyslové výroby, vytápění domácností, výfukové emise z dopravy), pochází významné množství emisí TZL ze zdrojů fugitivních (kamenolomy, skládky prašných materiálů, manipulace s prašnými materiály apod.). Jejich zdrojem jsou rovněž emise z otěrů pneumatik, brzdového obložení a abraze vozovek vypočítávané z dopravních výkonů. Kvalitu ovzduší ovlivňuje rovněž resuspenze částic (znovuzvíření), která do standardně prováděných emisních inventur není zahrnuta (ČHMÚ, 2023).

Mezi hlavní zdroje emisí částic v roce 2021 patřil sektor 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření, který se podílel na znečišťování ovzduší v celorepublikovém měřítku látkami PM₁₀ 70 % a PM_{2,5} 83,7 % (ČHMÚ, 2023).

2 Metodika

2.1 Výběr lokalit

Projekt byl realizován na území města Tišnov, ve kterém žije 9 351 obyvatel dle údajů z roku 2021 (zdroj ČSÚ). Město se nachází v údolí mezi třemi vrchy (Květnice, Klucanina, Čihadlo), což má významný vliv na kvalitu ovzduší. Ta je ovlivňována celou řadou zdrojů znečišťujících látek zahrnujících dopravu (silnice II/385, II/377, II/379), průmyslové areály (jižní a východní část města) i lokální topeniště v rezidenčních částech města (severovýchodní část). Město je plynofikované s převažujícím zdrojem vytápění zemním plynem. Na území města se nachází 3 645 obydlí, kdy počet obydlí s vytápěním na pevná paliva je 123. Městem protéká řeka Svatka na jeho jižním okraji. Na Obr. 2 je vyobrazena geografická mapa města Tišnov.

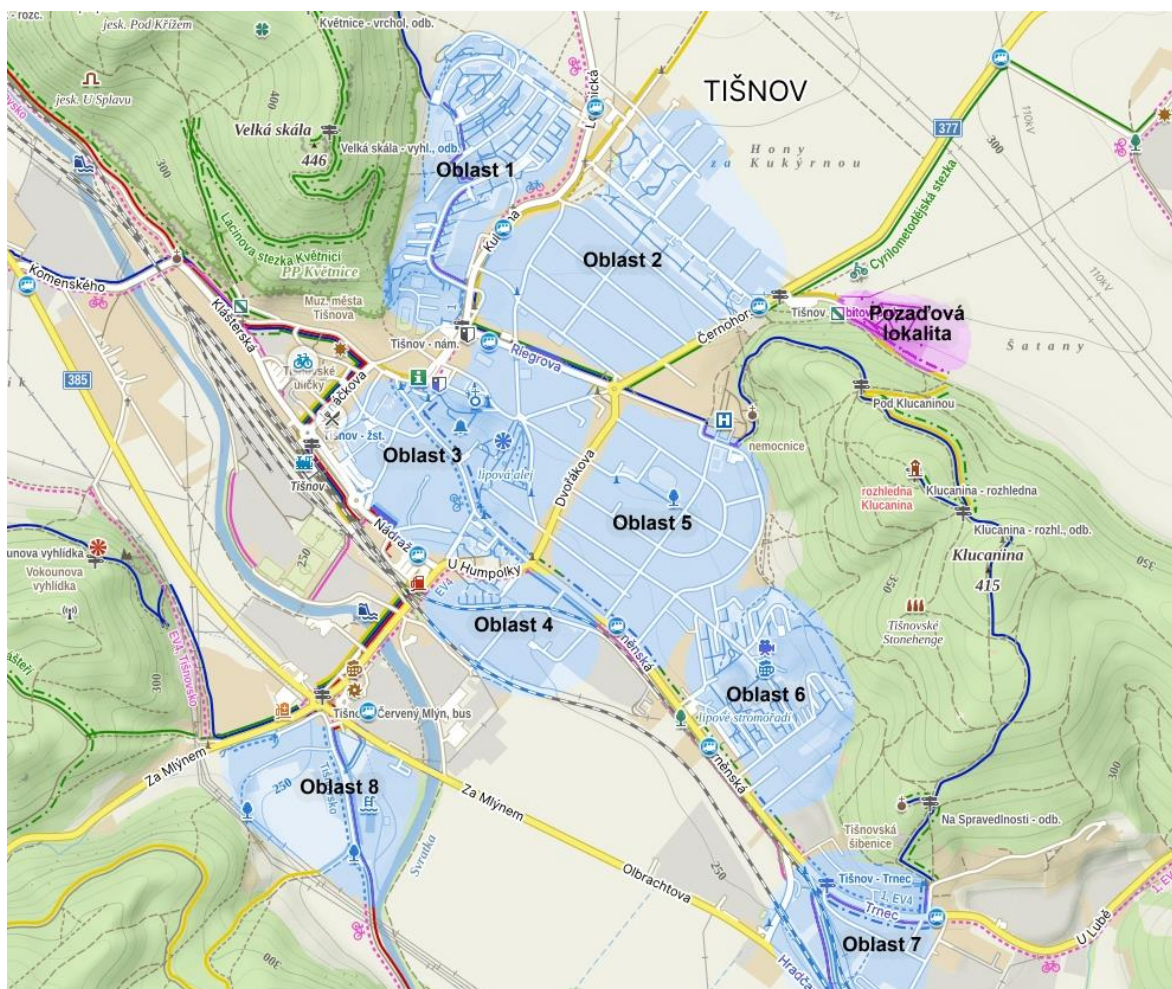


Obr. 2: Geografická mapa města Tišnov (Zdroj: mapy.cz)

Samotné území města bylo za účelem výběru lokalit rozčleněno na 8 cílových oblastí a 1 lokalitu pro měření pozadí. Primárním cílem projektu bylo vytipovat oblasti s předpokládaným vlivem lokálních topenišť na kvalitu ovzduší. Výběr lokalit samotných probíhal v součinnosti se zástupci města. Výsledné rozdělení cílových oblastí odpovídá přibližně rozdělení města do oblastí dělených hlavními silničními tahy městem. Vybrané cílové oblasti jsou vyobrazeny na Obr. 3.

Podpořeno Norskem prostřednictvím Norských fondů

Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov



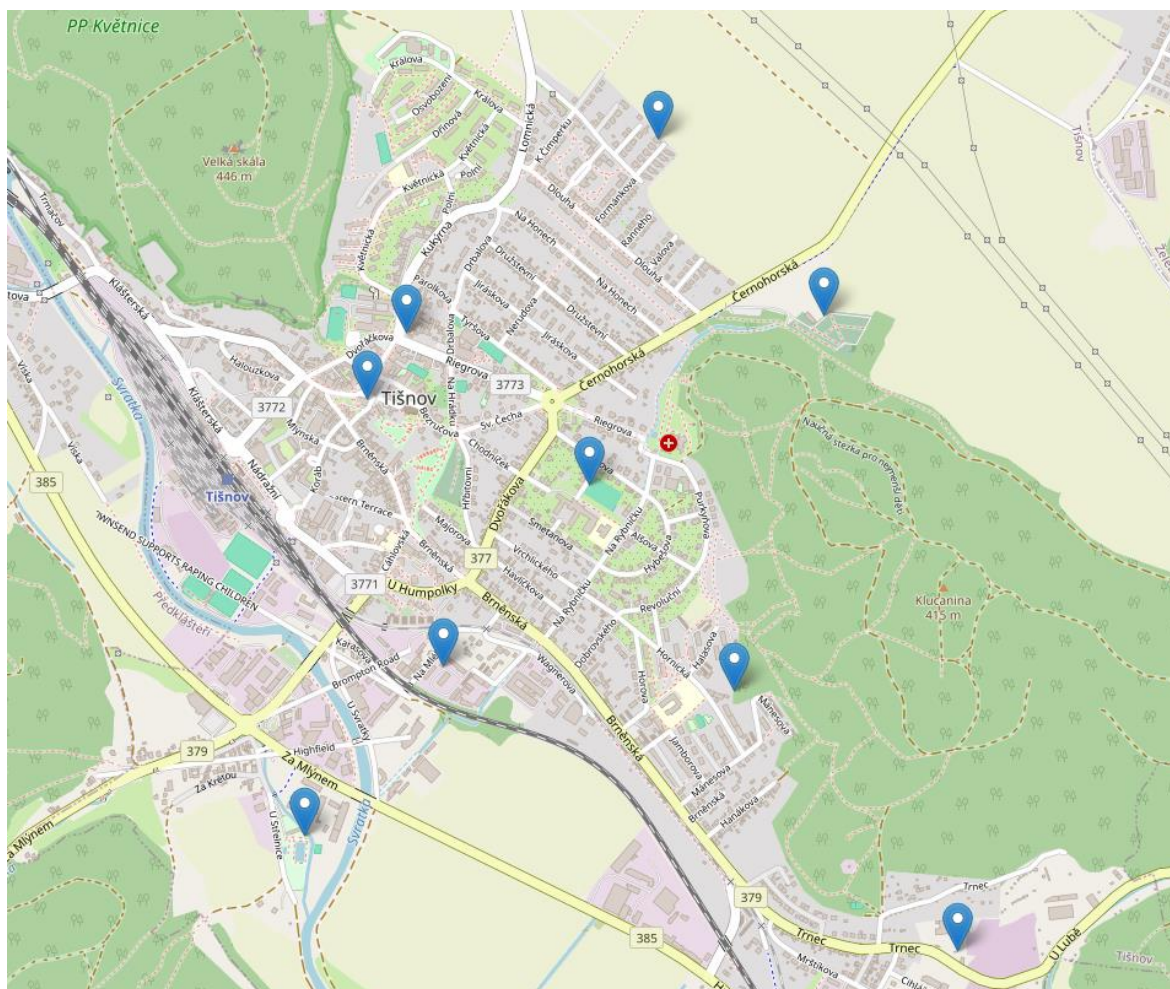
Obr. 3: Cílové oblasti pro umístění senzorických jednotek

2.2 Lokality měření

Pro monitoring aerosolových částic ve městě Tišnov bylo vybráno celkem 8 lokalit, tak aby plošně pokrývaly celé území města, primárně se zaměřením na lokality potencionálně zatížené znečištěním ovzduší z lokálních topenišť. Na každou z lokalit byla vždy nainstalována jedna nízkonákladová jednotka enviDUST. Jedna jednotka byla instalována na pozadové lokalitě, kde byla současně situována také jedna ze dvou jednotek pro monitoring meteorologických veličin. Druhá z jednotek sledující meteorologické veličiny byla umístěna na údolní lokalitě v areálu koupaliště. Umístění jednotlivých jednotek je uvedeno v Tab. 1, dále je graficky znázorněno v mapě na Obr. 4.

Lokalita	GPS
Letní kino, ul. Hornická	49.3421042N, 16.4358742E
Sportovní areál při ZŠ Smíškova, ul. Smíškova	49.3468303N, 16.4307953E
Severní výjezd z města, ul. Sigmundova	49.3547542N, 16.4331744E
Reference, hřbitov Tišnov	49.3507583N, 16.4391558E
Náměstí 28. října	49.3504083N, 16.4244847E
Sportovní areál při ZŠ Smíškova, ul. Smíškova	49.3468303N, 16.4307953E
Areál In-Eko, ul. Trnec	49.3362150N, 16.4436222E
Areál Koupaliště, ul. U Střelnice	49.3388542N, 16.4207592E
Sběrný dvůr, ul. Wagnerova	49.3427006N, 16.4256944E
Radnice, ul. Náměstí Míru	49.3488350N, 16.4230417E
Reference, hřbitov Tišnov	49.3507583N, 16.4391558E
Areál Koupaliště, ul. U Střelnice	49.3388542N, 16.4207592E

Tab. 1: Vybrané lokality pro monitoring aerosolových částic, zeleně označeny lokality, kde probíhal souběžný monitoring meteorologických veličin



Obr. 4: Grafické znázornění sledovaných lokalit na území města Tišnov

Podpořeno Norskem prostřednictvím Norských fondů

Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov

Jednotlivé lokality a instalace senzorických jednotek na sledovaných lokalitách jsou vyobrazeny na Obr. 5.



Obr. 5: Jednotlivé lokality, zleva od vrchu – Radnice, ul. Sigmundova, Hřbitov, Letní kino, Areál společnosti In-Eko, Areál koupaliště, ZŠ Smíškova, náměstí 28. října, Sběrný dvůr

2.3 Metodika měření

Pro monitoring kvality ovzduší byly využity optické senzorické jednotky vhodné pro použití ve venkovním prostředí se zárukou životnosti 12 měsíců. Pro měření aerosolových částic PM₁₀, PM_{2.5} a PM₁ byly využity senzorické jednotky enviDUST (CDV a ENVitech Bohemia s.r.o.) Dodané senzorické jednotky měří v koncentračním rozsahu 0–500 µg·m⁻³ a nejistota měření nepřesahuje 35 %. K měření meteorologických veličin byly využity senzorické meteostanice enviMET (CDV a ENVitech Bohemia s.r.o.) schopné detekovat teploty -20 °C až +50 °C, relativní vlhkost, atmosférický tlak, směr větru a sílu větru.

Měřicí jednotky byly instalovány na místech s možností připojení na 230 V ve výšce 2–4 m nad zemským povrchem, v bezpečné zóně, kde nehrozí jejich poškození lidmi či jinými vlivy, mimo přímý dosah emisních zdrojů, ale zároveň v lokalitách, kde lze očekávat zvýšené imisní koncentrace vlivem lokálních topenišť.

Souměření bylo provedeno za využití přístroje Airpointer (Recordum Messtechnik GmbH, Rakousko), jenž stanovuje kontinuálně koncentrace aerosolových částic frakcí PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁ nefelometrickou metodou (fotometr rozptylující světlo, LED zdroj světla v oblasti blízké infračervené, křemíkový detektor, hybridní předzesilovač a zdrojový referenční detektor), přičemž naměřená data byla validována na základě diskontinuálních 24hodinových odběrů na filtry s využitím sekvenčních vzorkovačů SVEN LECKEL SEQ 47/50-CD (Sven Leckel Ingenierbüro, Německo), s následnou gravimetrickou analýzou na mikrováhách MX5 (Mettler – Toledo GmbH, Švýcarsko).

Měření souvisejících meteorologických prvků bylo realizováno meteorologickými stanicemi WS500 UMB (G. Lufft Mess – und Regeltechnik GmbH, Německo) a meteorologickými sety enviMET (Envitech Bohemia s.r.o, CZ).

Podpořeno Norskem prostřednictvím Norských fondů

Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov



Obr. 6: Senzorické jednotky enviDUST (vlevo), meteostanice enviMET (vpravo)

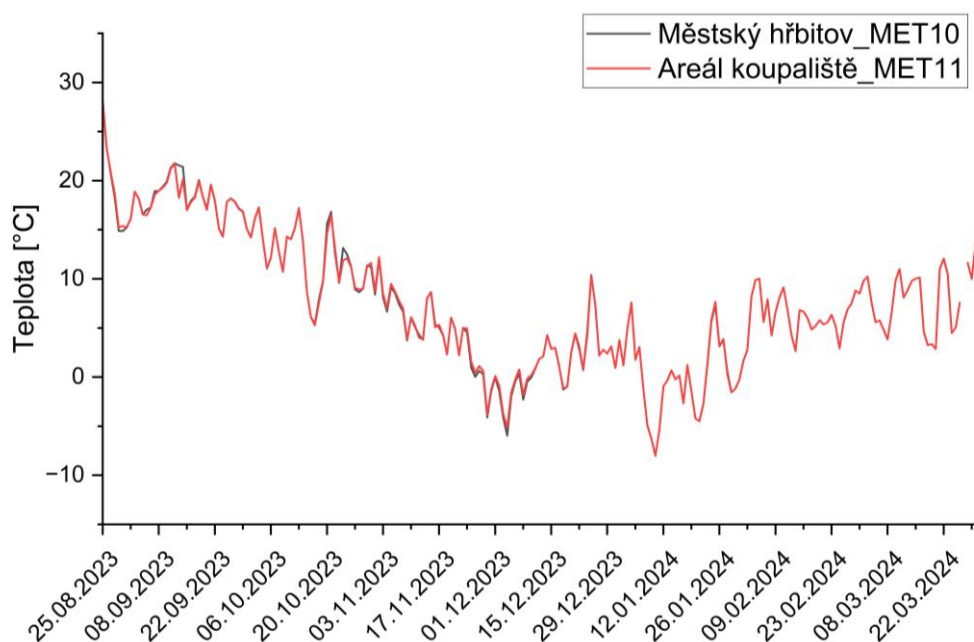


Obr. 7: Měřící technika využitá při souměření – vlevo Airpointer (Recordum Messtechnik GmbH, Rakousko), vpravo odběrové zařízení Sven Leckel MVS6 a SEQ47/50

3 Vyhodnocení

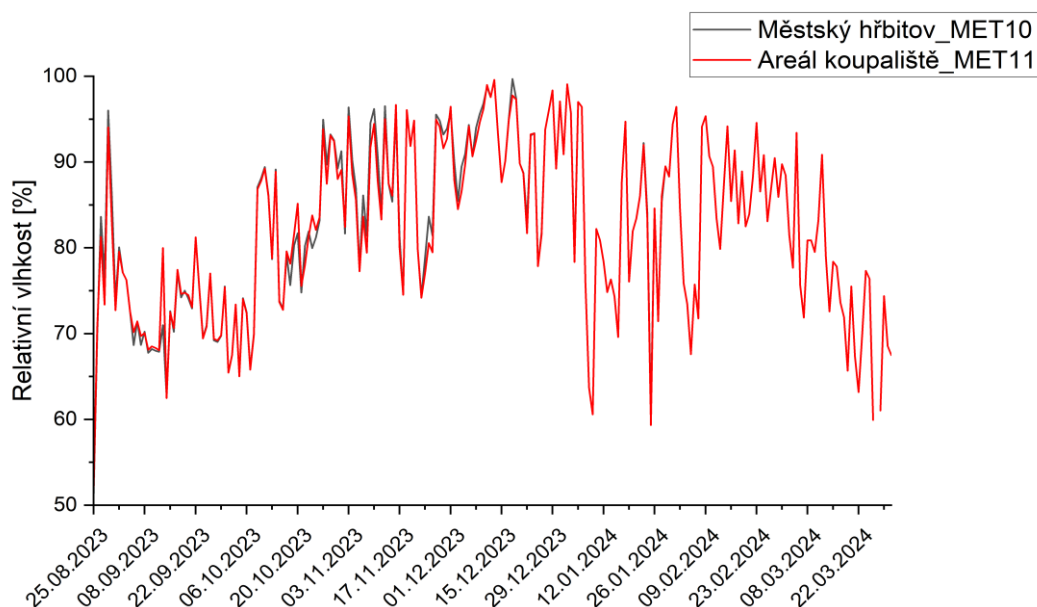
3.1 Meteorologické podmínky

Meteorologické podmínky byly monitorovány na lokalitách hřbitov a v areálu koupaliště. Naměřená data na obou lokalitách jsou vyobrazena formou grafů (Obr. 8-Obr. 10), které ukazují průměrné denní teploty vzduchu, hodnoty relativní vlhkosti a rychlost větru na obou lokalitách.



Obr. 8: Průměrná denní teplota vzduchu na lokalitách hřbitov a koupaliště

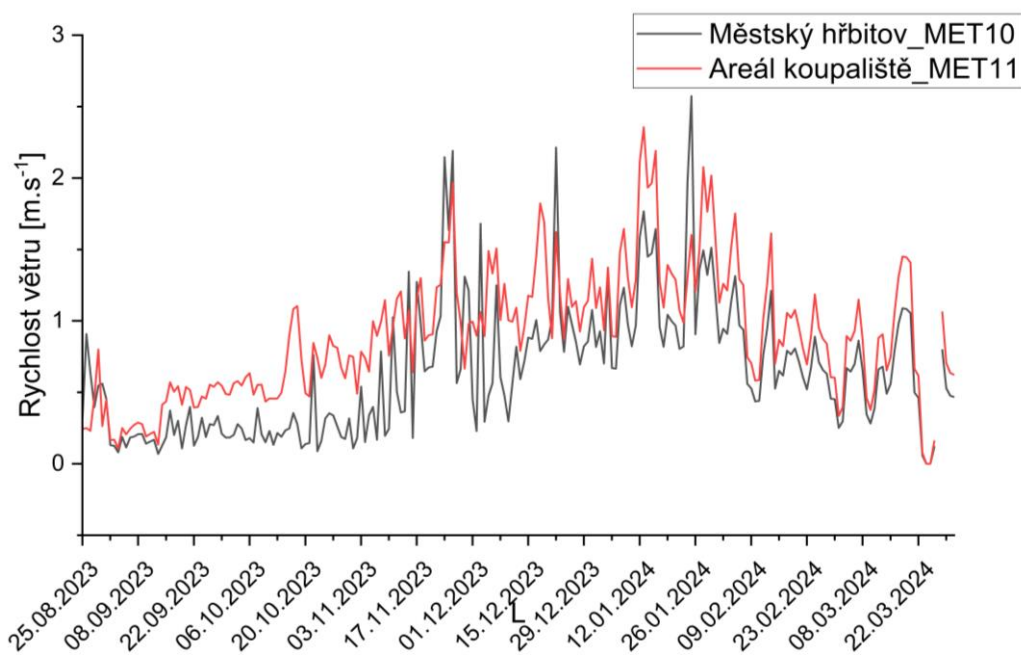
Naměřené teploty vzduchu na obou lokalitách byly z dlouhodobého hlediska téměř identické. Nejchladnější období bylo zaznamenáno na přelomu listopadu a prosince, dále poté na začátku druhé poloviny měsíce ledna. Shodné výsledky byly naměřené na obou lokalitách také při pohledu na hodnoty relativní vlhkosti vzduchu.



Obr. 9: Průměrná denní teplota vzduchu na lokalitách hřbitov a koupaliště

V případě rychlosti větru (

Obr. 10) jsou pozorovány rozdíly mezi sledovanými lokalitami. Vliv zde hraje zejména otevřenost lokality, popř. vliv překážek v bezprostřední blízkosti lokalit. Vzhledem k relativní otevřenosti obou lokalit dochází k rozdílu zejména co se intenzity týče, trendově si jsou obě lokality velice podobné.

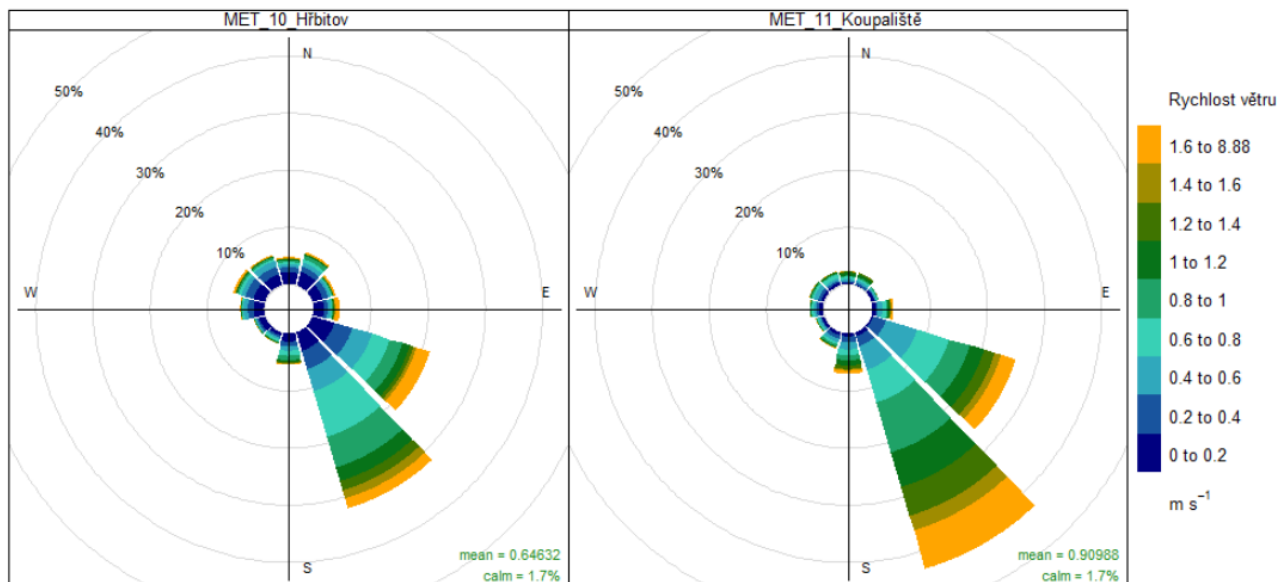


Obr. 10: Průměrné denní rychlosti větru na lokalitách hřbitov a koupaliště

Podpořeno Norskem prostřednictvím Norských fondů

Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov

Směr větru je znázorněn pomocí větrné růžice (Obr. 11), která je členěná dle rychlosti větru. Na obou lokalitách převládalo po dobu měření proudění z jihovýchodního směru. Z těchto směru byly také zaznamenány nejvyšší rychlosti větru.



Obr. 11: Větrná růžice členěná dle rychlosti a směru větru, lokality hřbitov (vlevo) a koupaliště (vpravo)

3.2 Koncentrace aerosolových částic

Koncentrace aerosolových částic frakcí PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ a PM_1 byly měřeny kontinuálně na všech sledovaných lokalitách. Celkem bylo na 9 lokalitách (8 sledovaných + 1 požadová lokalita) instalováno 10 senzorických jednotek (souběžné měření 2 jednotek na lokalitě při ZŠ Smíškova).

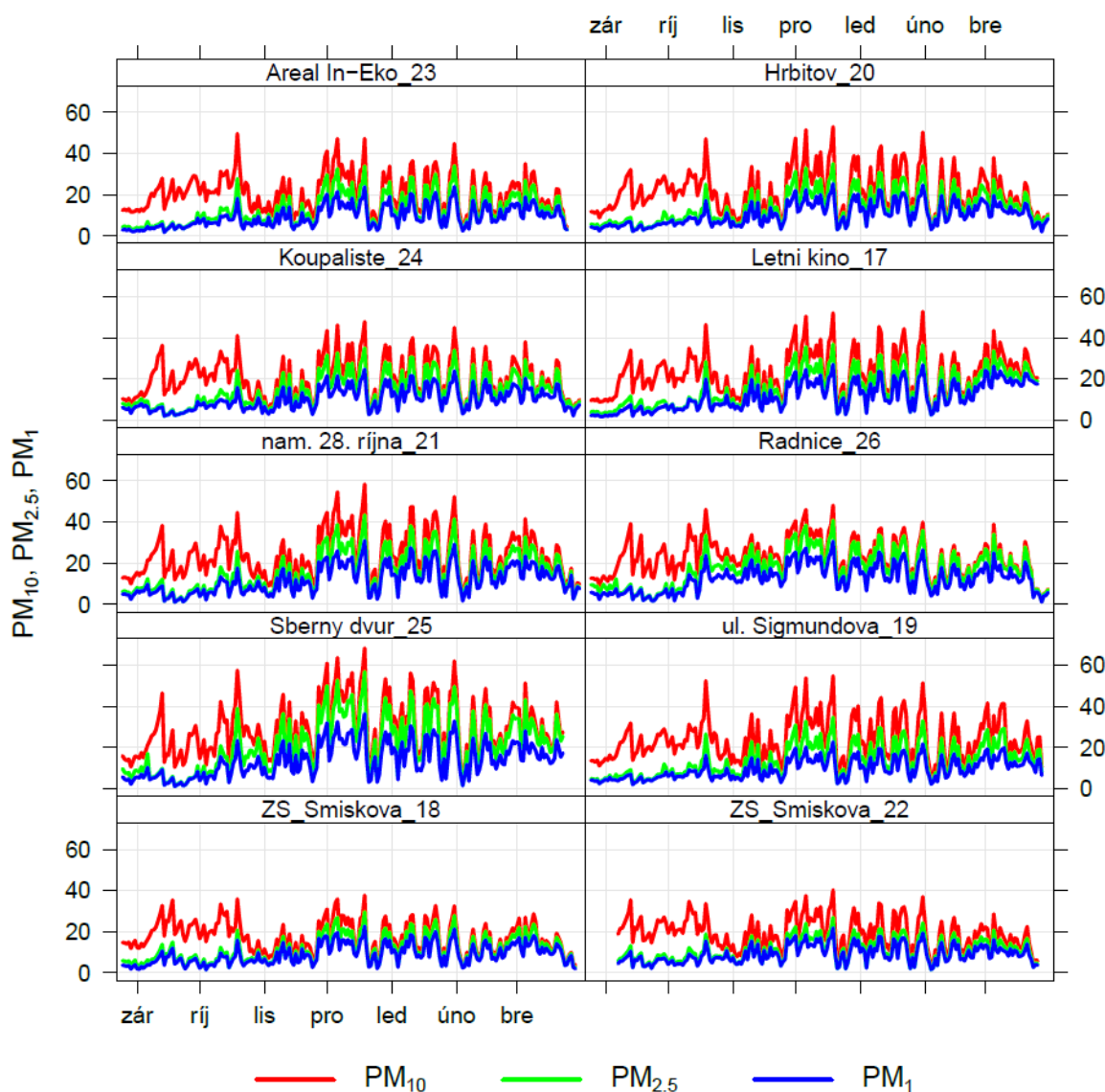
3.2.1 Koncentrace aerosolových částic

Vývoj průměrných denních koncentrací jednotlivých frakcí aerosolových částic na všech monitorovaných lokalitách je zobrazen na následujícím Obr. 12. Z grafů je patrné, že z pohledu pozorovaných trendů si jsou lokality podobné, rozdíly jsou pozorovány v dosažených úrovních koncentrací. Nejvyšší koncentrace byly měřeny na lokalitě v areálu sběrného dvora, naopak nejnižší koncentrace byly měřeny na lokalitě při ZŠ Smíškova.

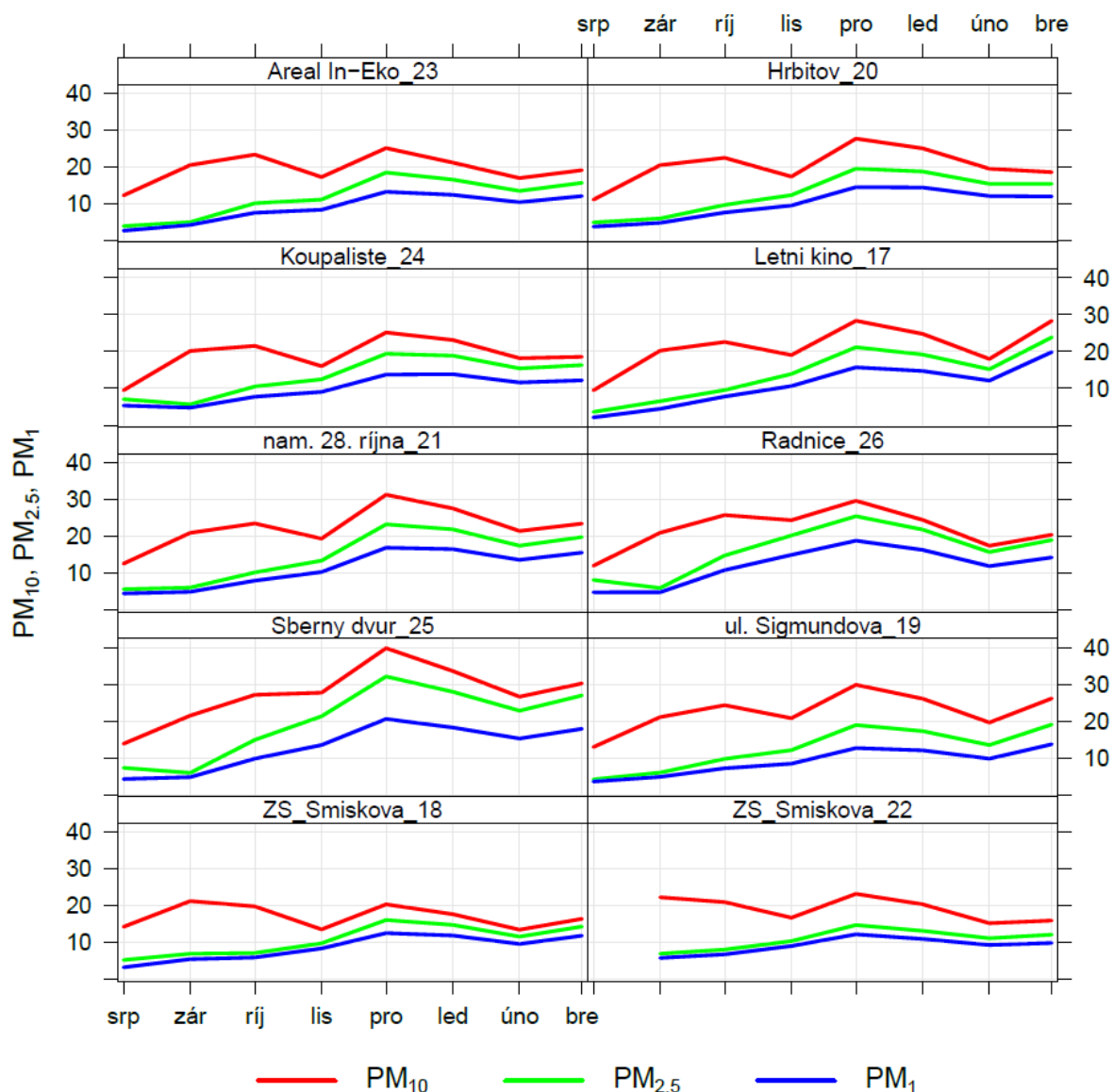
Na Obr. 13 jsou dále vyobrazeny průměrné měsíční koncentrace na jednotlivých lokalitách. V případě aerosolových částic frakce PM_{10} byl pozorovaný růst koncentrací ve dvou obdobích, a to v průběhu období září–říjen a následně v průběhu zimních měsíců. Na koncentracích aerosolových částic frakce PM_{10} v ovzduší se podílí větší množství potencionálních zdrojů než pouze lokální topeniště jako například stavební a zemědělská činnost, resuspenze částic z povrchu, větrná eroze popřípadě částice přírodního původu (prach, pyl, přírodní požáry). Na koncentraci PM_{10} v ovzduší mají také vliv meteorologické podmínky, kdy zejména vyšší vlhkost snižuje koncentrace PM_{10} v důsledku snížení podílu resuspenze prachu a dalších usazených látek na povrchu. V případě jemnějších frakcí aerosolových částic (PM_1 a $\text{PM}_{2.5}$) v ovzduší byl pozorován postupný nárůst koncentrací směrem

k zimnímu období. Jemnější frakce aerosolových částic jsou primárně emitovány spalovacími procesy a souvisí přímo se zvýšenou intenzitou vytápění v zimních měsících.

Zvýšené koncentrace aerosolových částic frakce PM_{10} v průběhu měsíce září/října na všech monitorovaných lokalitách souvisí s realizací souměření na lokalitě Smíškova, kde v těsné blízkosti probíhala stavební činnost, která je potencionálním zdrojem těchto částic v ovzduší a s velkou pravděpodobností došlo k ovlivnění měřených hodnot z hlediska koncentrací aerosolových částic PM_{10} .



Obr. 12: Denní průměry koncentrace jednotlivých frakcí aerosolových částic na monitorovaných lokalitách



Obr. 13: Měsíční průměry jednotlivých frakcí aerosolových částic na monitorovaných lokalitách

Pro vývoj koncentrací aerosolových částic jsou velmi důležité meteorologické podmínky, zejména pak teplota vzduchu a relativní vlhkost vzduchu. Vztah mezi průměrnými denními koncentracemi aerosolových částic a jednotlivými meteorologickými veličinami zobrazují následující Obr. 14-Obr. 19.

V případě grafů znázorňujících výsledky pro koncentrace aerosolových částic frakce PM_{10} je v grafech vyznačena také hladina $50 \mu g \cdot m^{-3}$, kde tato hodnota odpovídá legislativou stanovené hodnotě imisního limitu pro koncentrace aerosolových částic frakce PM_{10} v případě denního průměrování.

Z grafů Obr. 14-Obr. 16 je dobře patrný jev, kdy nízké teploty se mohou odrazit ve vyšších koncentracích aerosolových částic, a to v případě všech tří námi sledovaných frakcí částic. To je vidět zejména v období konec listopadu až začátek února, kdy byly měřeny obecně nejvyšší koncentrace na sledovaném území.

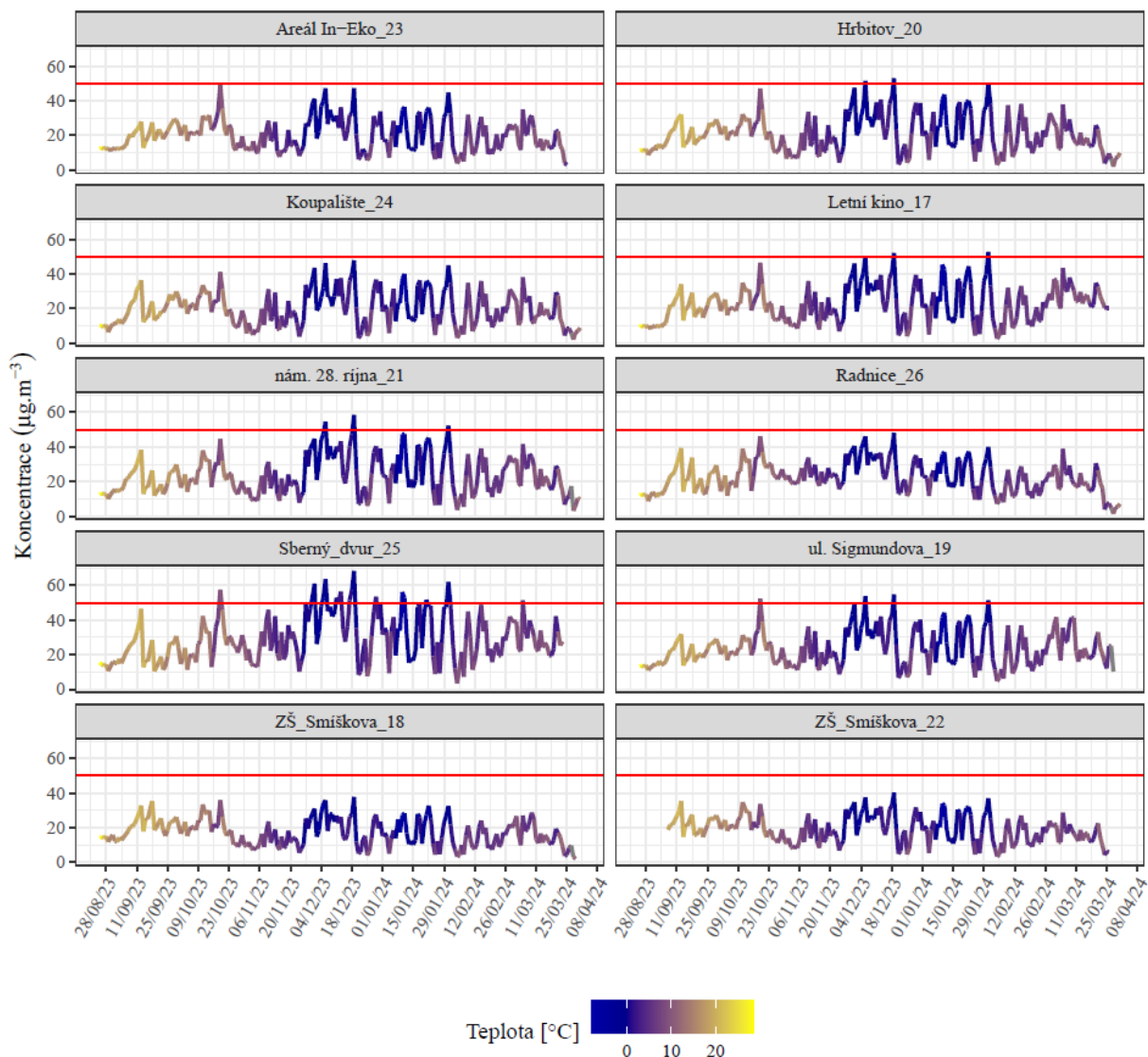
Na grafech Obr. 17-Obr. 19 je vyobrazeno srovnání vlivu relativní vlhkosti na koncentrace aerosolových částic v ovzduší. Z grafů je patrné, že v případě vyšší relativní vlhkosti byly zpravidla měřeny vyšší koncentrace aerosolových částic v ovzduší.

Při porovnání trendů a koncentrací na jednotlivých lokalitách nebyla pozorována výraznější odchylka co se jednotlivých lokalit týče. Meteorologické podmínky ovlivňují shodně kvalitu ovzduší na sledovaných lokalitách.

Souvislost mezi rychlostí a směrem větrem a koncentracemi aerosolových částic pak nejlépe vystihují koncentrační růžice. Této tématice je věnována následující kapitola 3.2.1.

Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁₀ v závislosti na teplotě

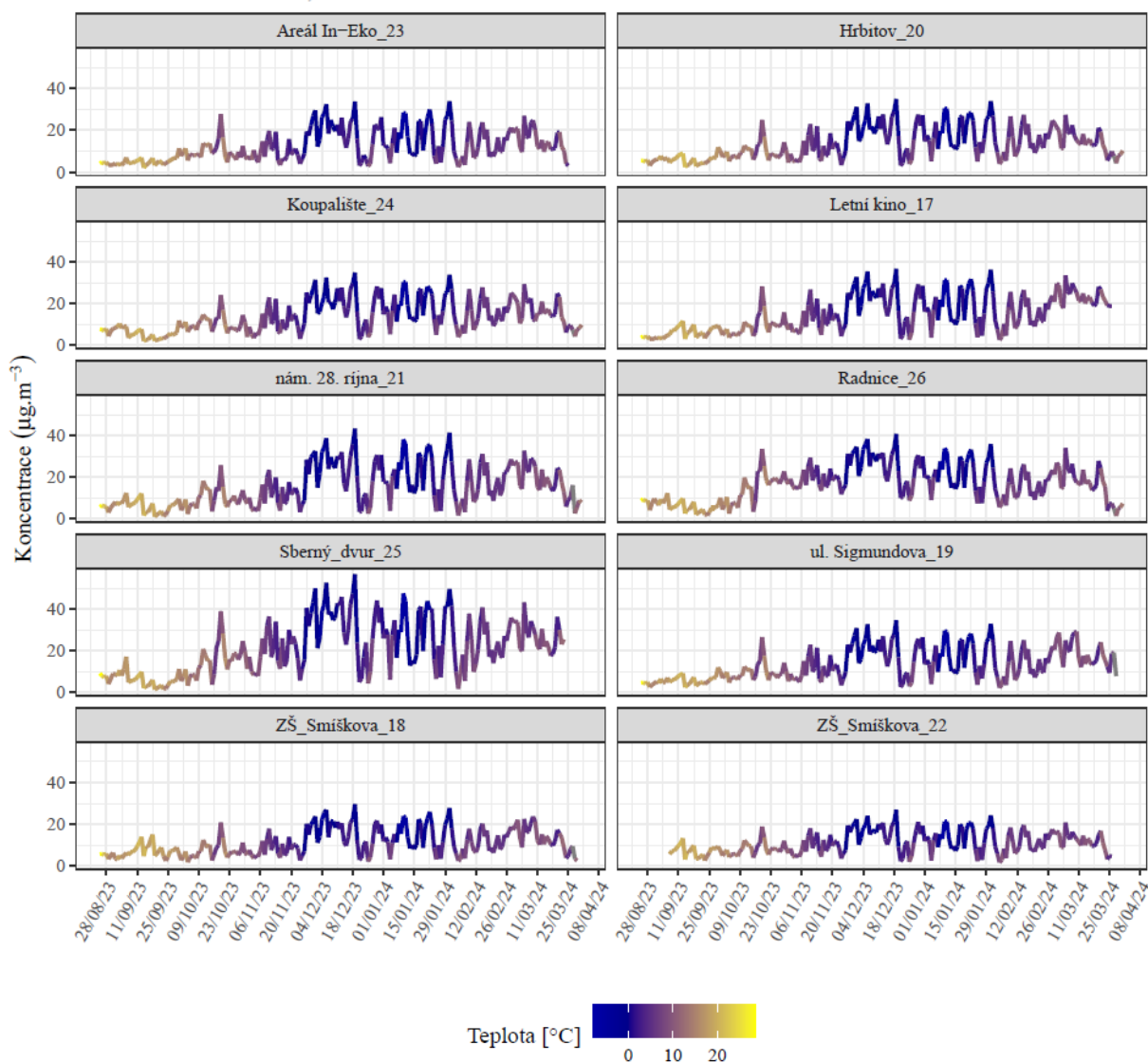
25. 8. 2023 – 31. 3. 2024, Tišnov



Obr. 14: Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁₀ v závislosti na teplotě

Vývoj průměrných denních koncentrací PM_{2,5} v závislosti na teplotě

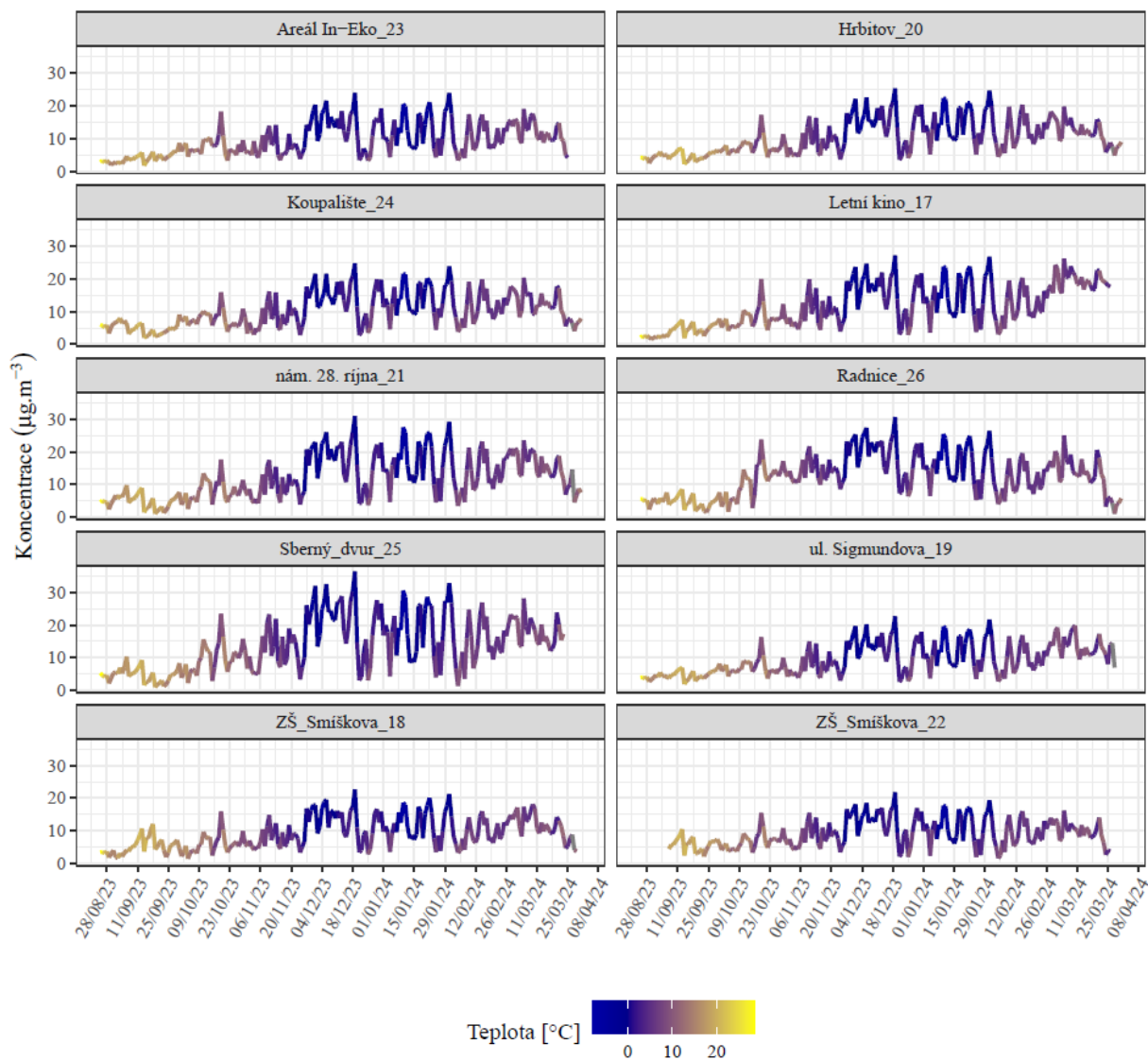
25. 8. 2023 – 31. 3. 2024, Tišnov



Obr. 15: Vývoj průměrných denních koncentrací PM_{2,5} v závislosti na teplotě

Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁ v závislosti na teplotě

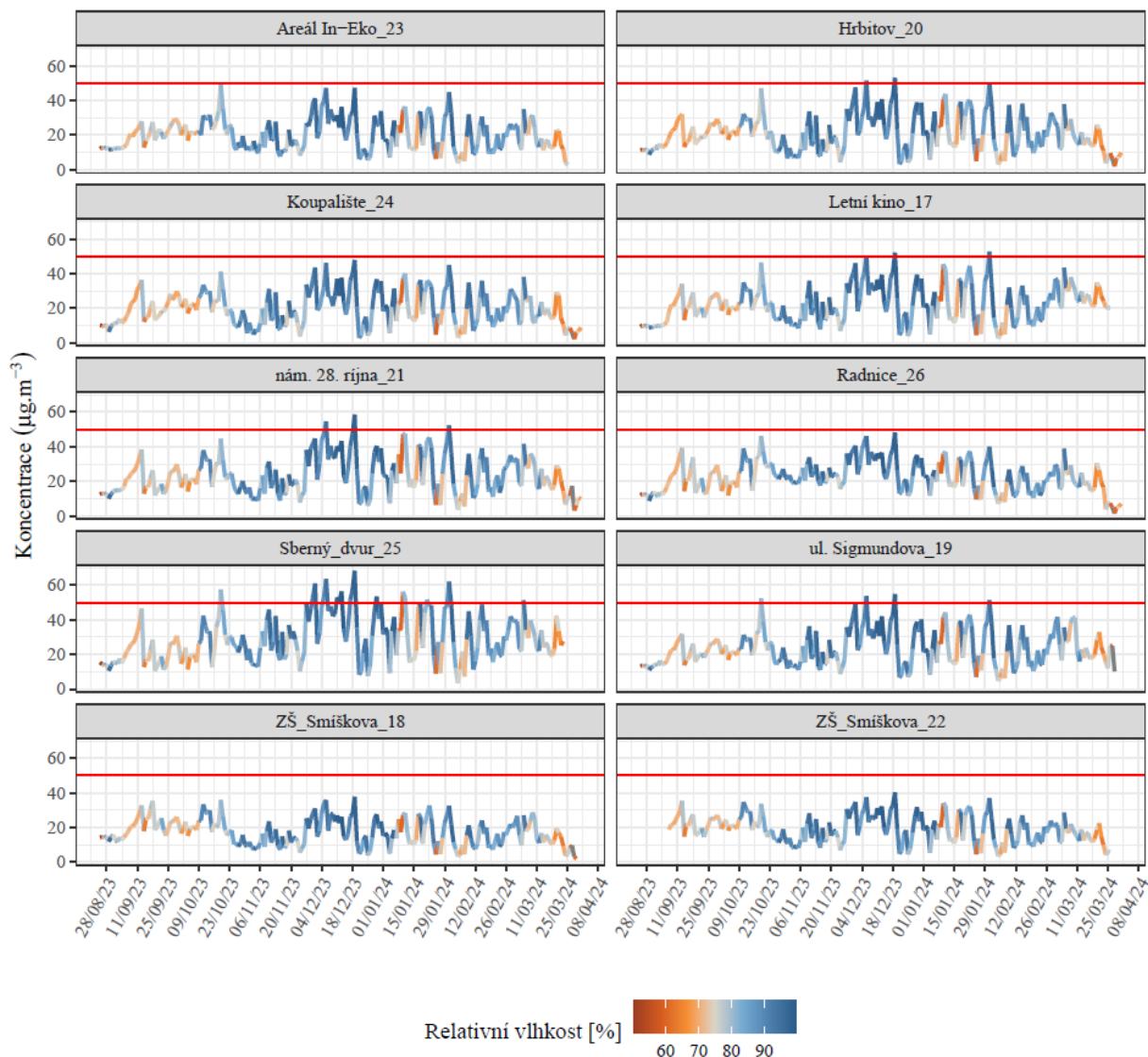
25. 8. 2023 – 31. 3. 2024, Tišnov



Obr. 16: Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁ v závislosti na teplotě

Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁₀ v závislosti na relativní vlhkosti

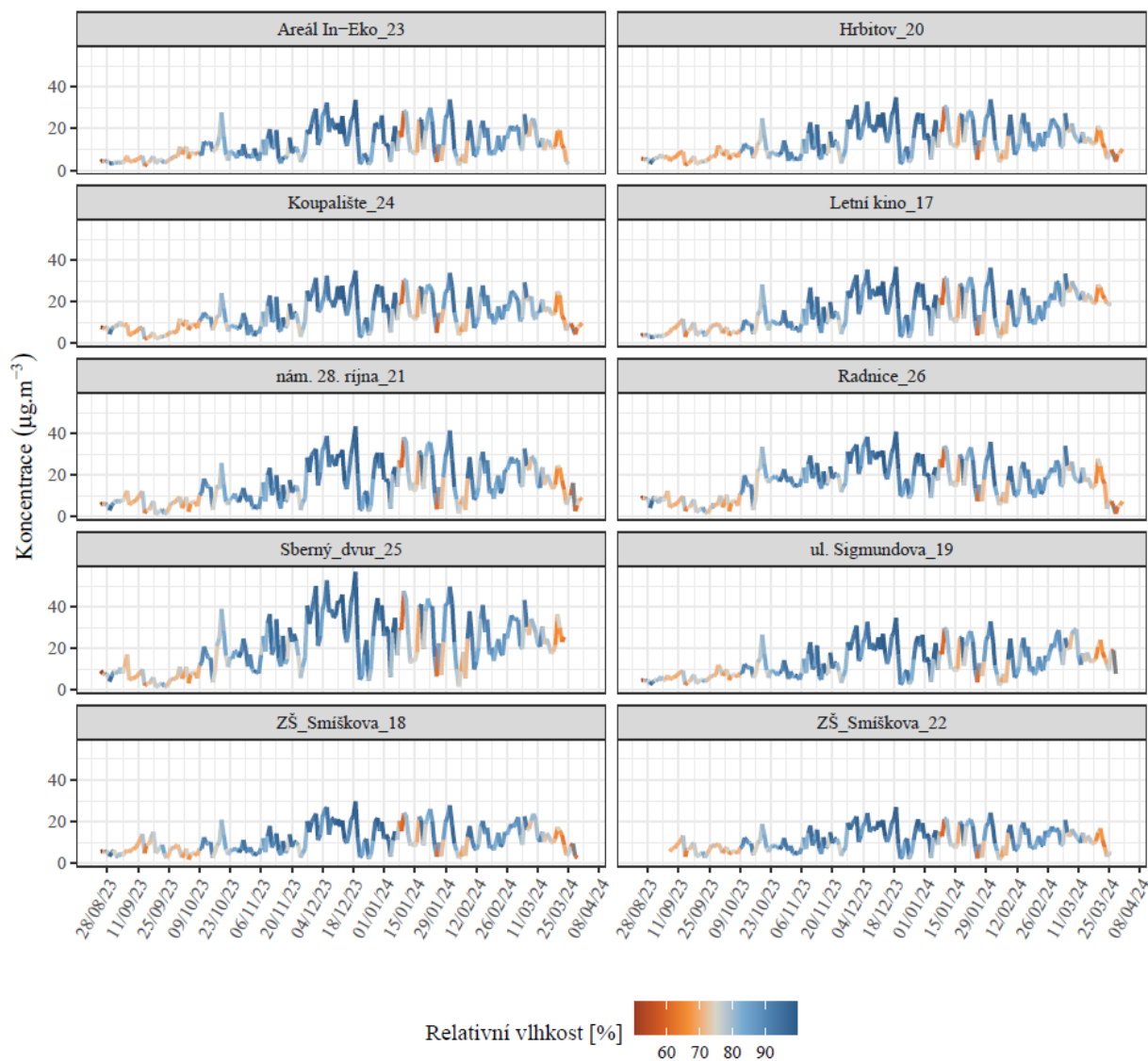
25. 8. 2023 – 31. 3. 2024, Tišnov



Obr. 17: Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁₀ v závislosti na relativní vlhkosti

Vývoj průměrných denních koncentrací PM_{2,5} v závislosti na relativní vlhkosti

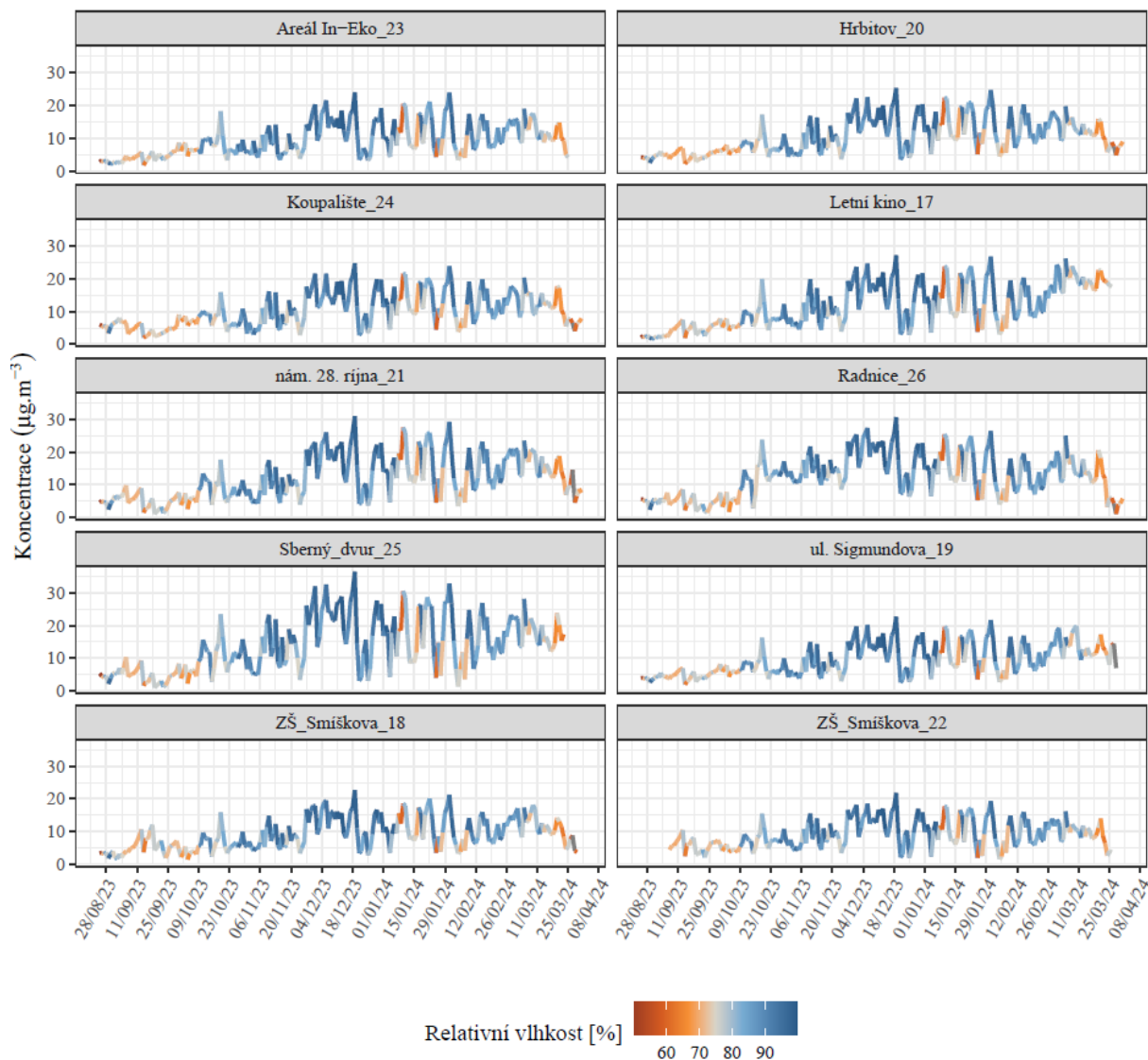
25. 8. 2023 – 31. 3. 2024, Tišnov



Obr. 18: Vývoj průměrných denních koncentrací PM_{2,5} v závislosti na relativní vlhkosti

Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁ v závislosti na relativní vlhkosti

25. 8. 2023 – 31. 3. 2024, Tišnov



Obr. 19: Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁ v závislosti na relativní vlhkosti

3.2.1 Koncentrační růžice

Koncentrační růžice jsou nástroj pro analýzu znečištění ovzduší na základě meteorologických charakteristik. Vychází se z větrné růžice, do polárních souřadnic se ukládá jednak směr větru jako u klasické větrné růžice, a dále pak rychlost větru – ve středu růžice je bezvětří, s rostoucí vzdáleností od středu roste rychlost větru. Pro jednotlivé rychlosti a směry větru je pak v koncentrační růžici zprůměrována koncentrace dané škodliviny, naměřená vždy při daných rychlostech a směrech větru. Koncentrace je vyjádřena barevnou škálou.

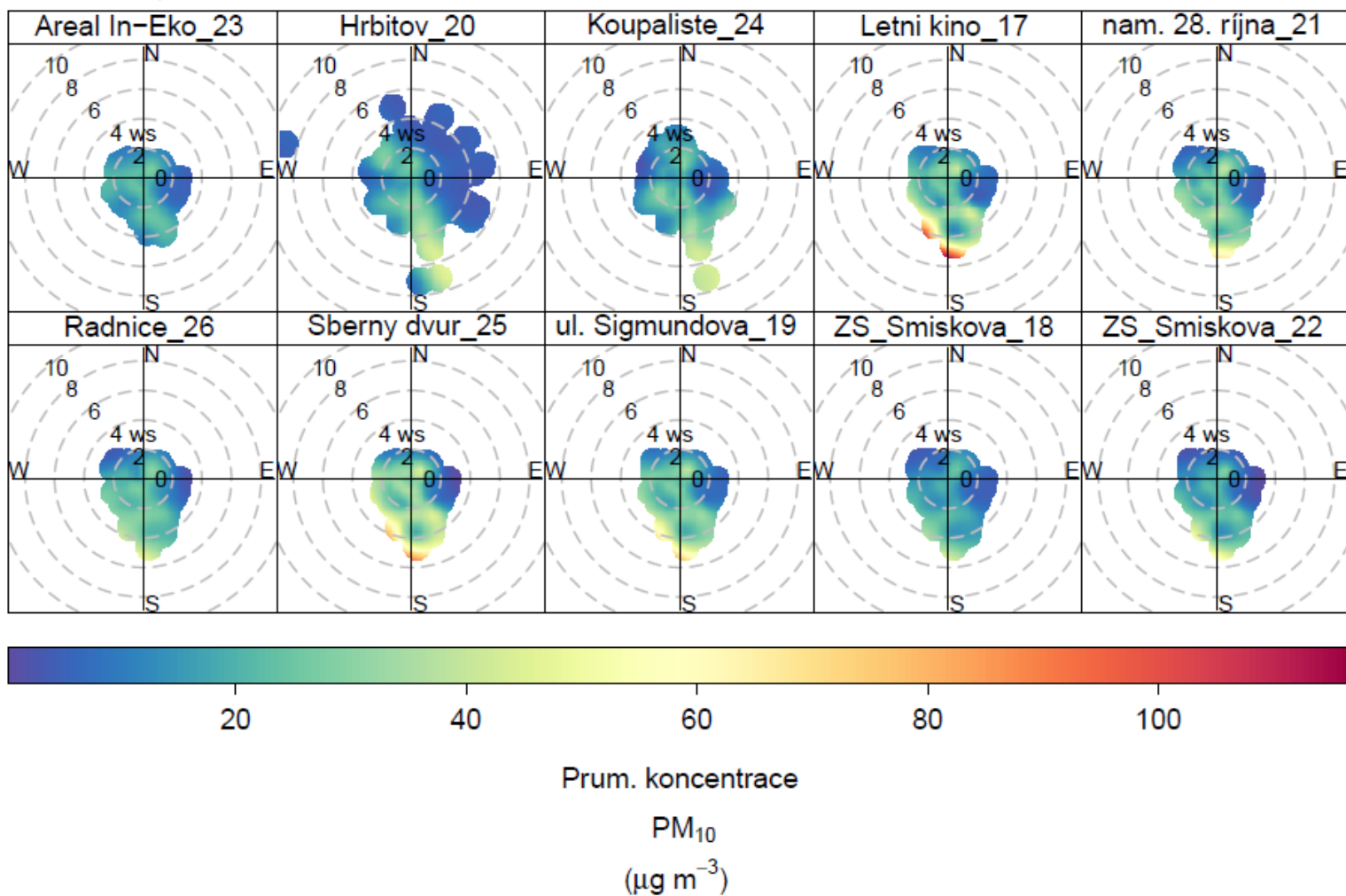
Z důvodu umístění meteorologických měření pouze na 2 lokalitách byl pro konstrukci koncentračních růžic využit průměr těchto měření, vzhledem k obdobným výsledkům na obou relativně vzdálených lokalitách (vzdušnou čarou přibližně 2 km). V případě umístění meteorologických jednotek na každé z lokalit by se prezentované výsledky mohly lišit, zejména s ohledem na členitost zástavby a terénu, který by mohl ovlivnit směr a rychlost větru na jednotlivých lokalitách. Na lokalitách Koupaliště a Hřbitov byly využity naměřená data ze zde umístěných meteorologických jednotek.

Vzhledem k tomu, že $PM_{2,5}$ i PM_1 jsou podmnožinou PM_{10} , lze očekávat, že koncentrační růžice budou pro PM_{10} a $PM_{2,5}$, resp. PM_1 podobné. Proto jsou dále uváděny růžice pouze pro PM_{10} , ale obdobné závěry budou platit i pro zbývající sledované frakce aerosolových částic.

Základní koncentrační růžice tak ukazuje, při jakých rychlostech a směrech větru jsou v průměru dosahovány (nejvyšší) koncentrace. Vážená koncentrační růžice pak vypočte vážený průměr (tzn., že je vzata v úvahu také četnost výskytu), a dává tak informaci, jakým procentem se jednotlivé směry větru podílí na měřených koncentracích dané škodliviny.

Na Obr. 20 jsou shrnuty výsledky dosažené na všech sledovaných lokalitách, a to formou koncentračních růžic. Na lokalitách Letní kino, nám. 28. října, Sběrný dvůr a ul. Sigmundova je patrné, že nejvyšší koncentrace jsou měřeny při vyšších rychlostech větru a to z jižního směru. Na zbývajících lokalitách jsou pozorovány vyšší koncentrace při nižších rychlostech větru až bezvětří.

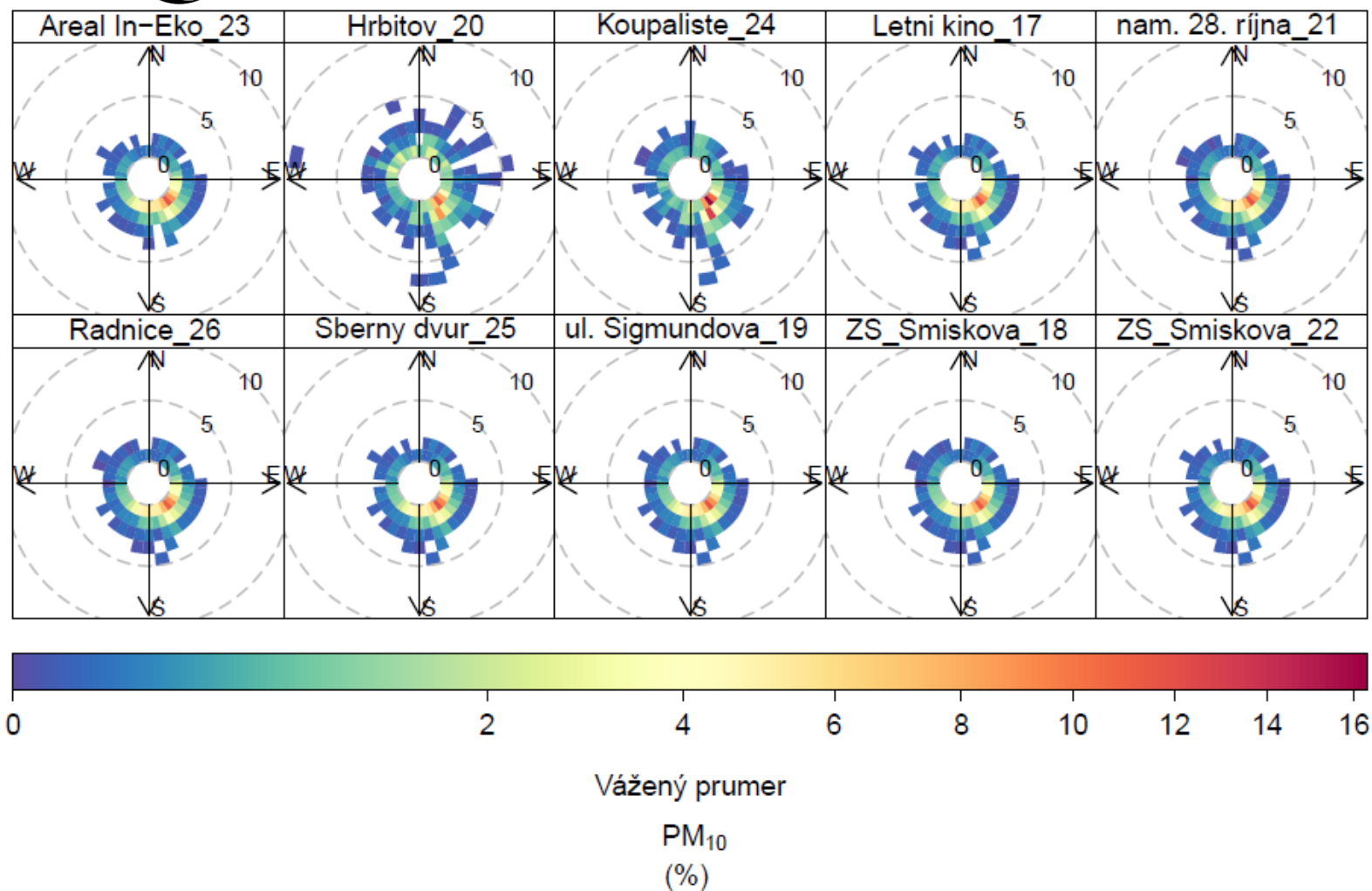
Na základě četností Obr. 21 vidíme, že nejčastěji bývají měřeny nejvyšší koncentrace při nižších rychlostech větru, což naznačuje vliv blízkého lokálního zdroje.



Obr. 20: Koncentrační růžice pro PM_{10} pro všechny monitorované lokality

Podpořeno Norskem prostřednictvím Norských fondů

Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov



Obr. 21: Vážená koncentrační růžice pro PM₁₀ pro všechny monitorované lokality

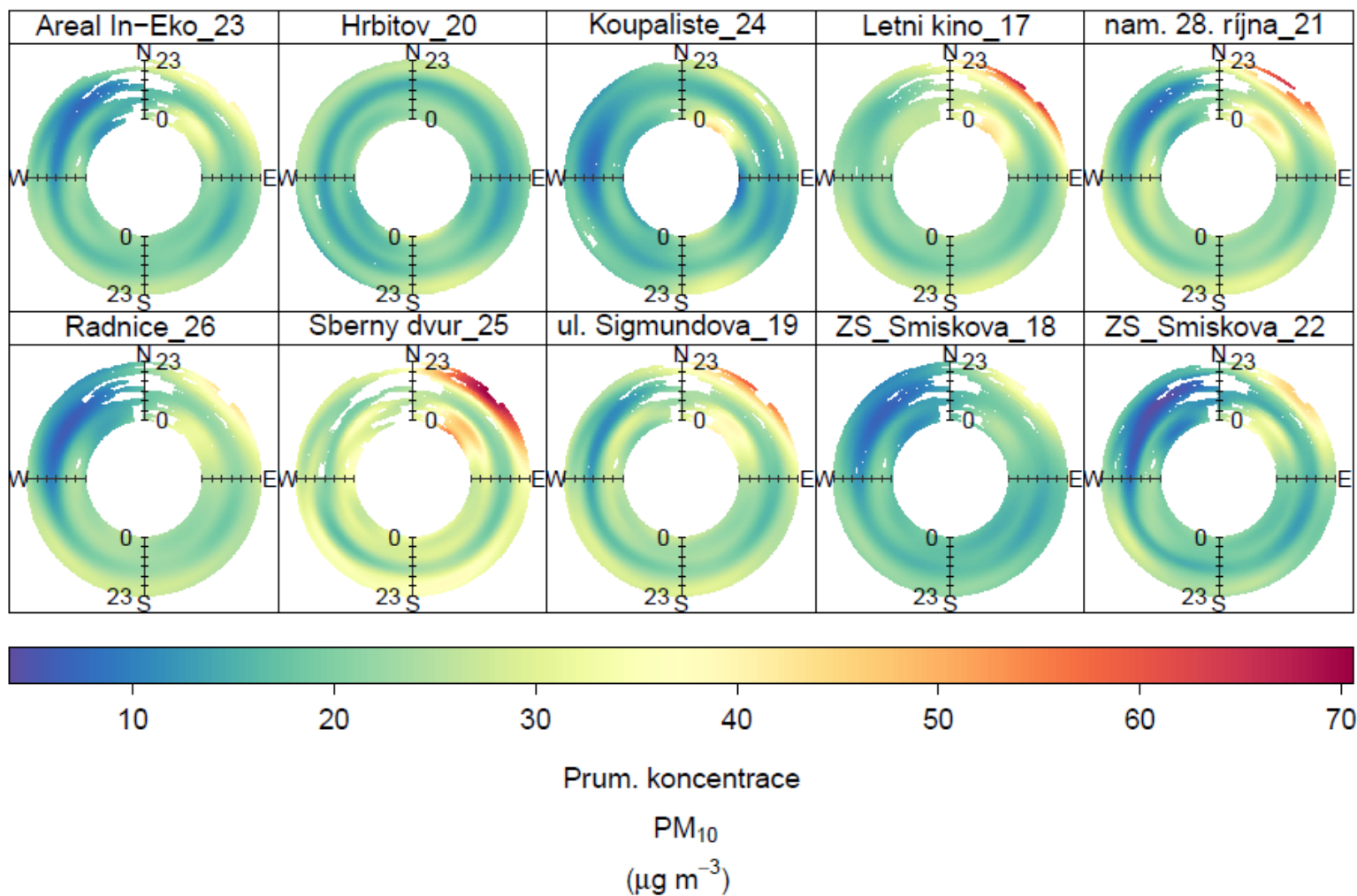
Podpořeno Norskem prostřednictvím Norských fondů

Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov

Dalším užitečným nástrojem pro analýzu dat o kvalitě ovzduší je zobrazení denního chodu. Ten je zobrazen spolu se směrem větru opět v polárních souřadnicích, takže podobně jako u koncentrační růžice bylo možné analyzovat rychlost a směr větru spolu se znečištěním, z následujících obrázků bude možné vyčíst znečištění v závislosti na směru větru a denní době. A obdobně jako bylo ve středu koncentrační růžice bezvětří a směrem od středu rostla rychlost větru, tak je v případě denního chodu uvnitř půlnoc a směrem od středu rostou hodiny až k 23. hodině na okraji kruhu.

Z denního chodu vyplývá, že nejvyšší koncentrace byly měřeny na všech monitorovaných lokalitách v průběhu večerních a nočních hodin a to zejména ze severovýchodního směru. Avšak na lokalitách Radnice, Sběrný dvůr a ul. Sigmundova byly měřeny zvýšené koncentrace i z ostatních směrů, opět však v průběhu večerních hodin.

Průměrné hodnoty jednotlivých frakcí aerosolových částic pro jednotlivé hodiny za den (denní chod) za celé měřené období, na všech monitorovaných lokalitách, bez ohledu na směr větru, avšak rozdělené na roční období zobrazují Obr. 23-Obr. 25.



Obr. 22: Denní chod koncentrací PM_{10} na všech monitorovaných lokalitách

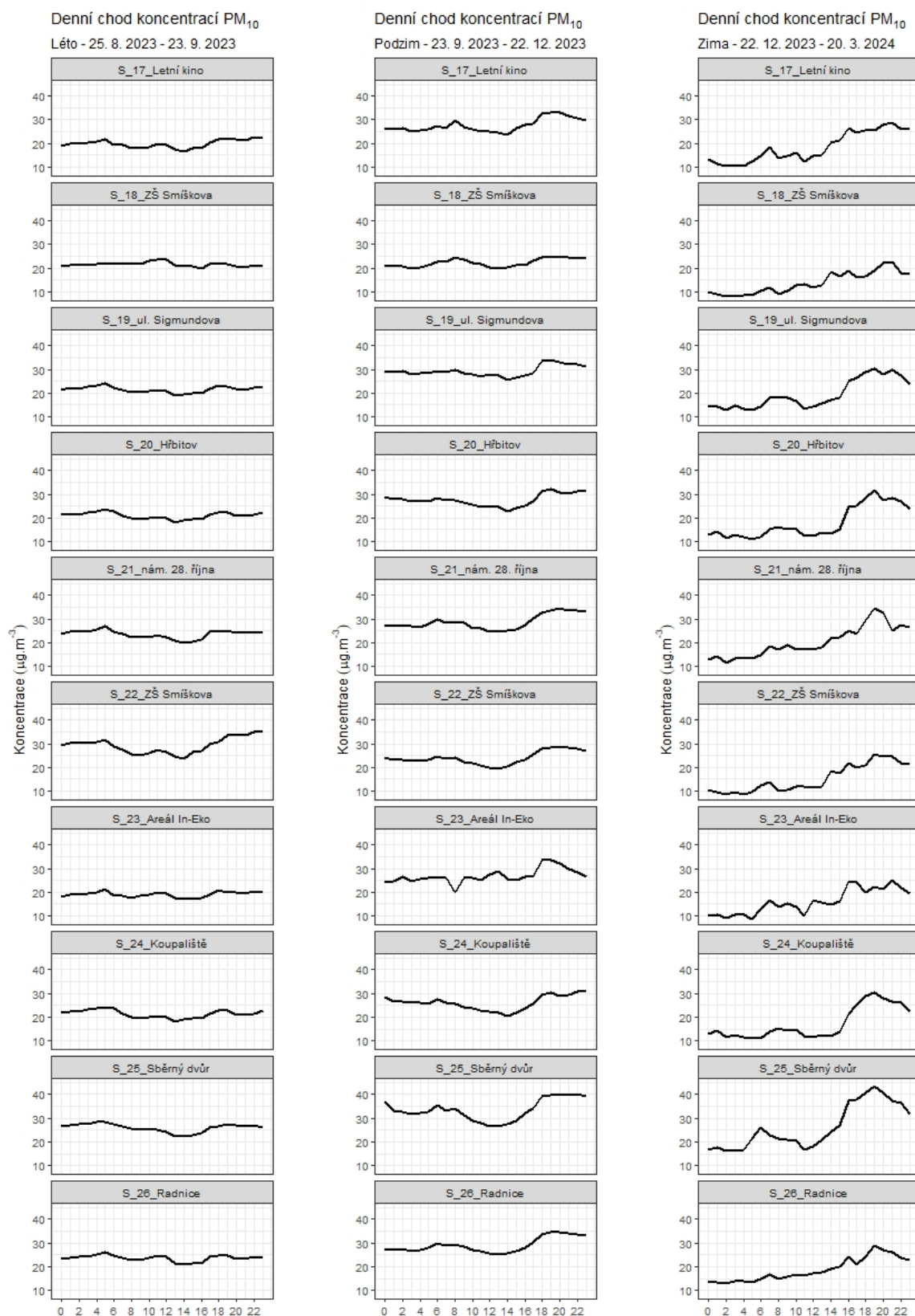
Podpořeno Norskem prostřednictvím Norských fondů

Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov

Z následujících grafů (Obr. 23 - Obr. 25) je velmi dobře patrný nárůst koncentrací aerosolových částic v průběhu podzimních a zimních měření, a to zejména při pohledu na jemnější frakce aerosolových částic.

V případě frakce PM_{10} pozorujeme relativně ustálený průběh jejich koncentrací v průběhu letních měsíců. V průběhu podzimních měsíců byl pozorován mírný nárůst koncentrací. Začala se projevovat ranní (6–8 hodina ranní) a večerní (od 18 hodiny) špička koncentrací, která by mohla souviset s lokálními topeništi a zvýšenou intenzitou vytápění. V průběhu měření v zimních měsících byl sledován výrazný nárůst koncentrací směrem k večerním až nočním hodinám, současně, avšak v menší míře, byl pozorován nárůst koncentrací v ranních hodinách. Koncentrace aerosolových částic frakce PM_{10} vykazovaly ovšem nejvyšší koncentrace v průběhu podzimních měření, v zimních měsících se jejich koncentrace pohybovaly dokonce až pod úroveň letních měření. V případě těchto částic hraje významný vliv meteorologie, kdy se zvyšující se vlhkostí dochází mimo jiné k menší resuspenzi částic z povrchů a tím pádem k eliminaci tohoto příspěvku k celkovým koncentracím PM_{10} v ovzduší v průběhu zimních měsíců. V letních měsících poté ke koncentracím PM_{10} přispívají i další činnosti, jakožto zemědělská či stavební činnost, které mohou mít vliv na vyšší koncentrace právě v průběhu letních/podzimních měsíců.

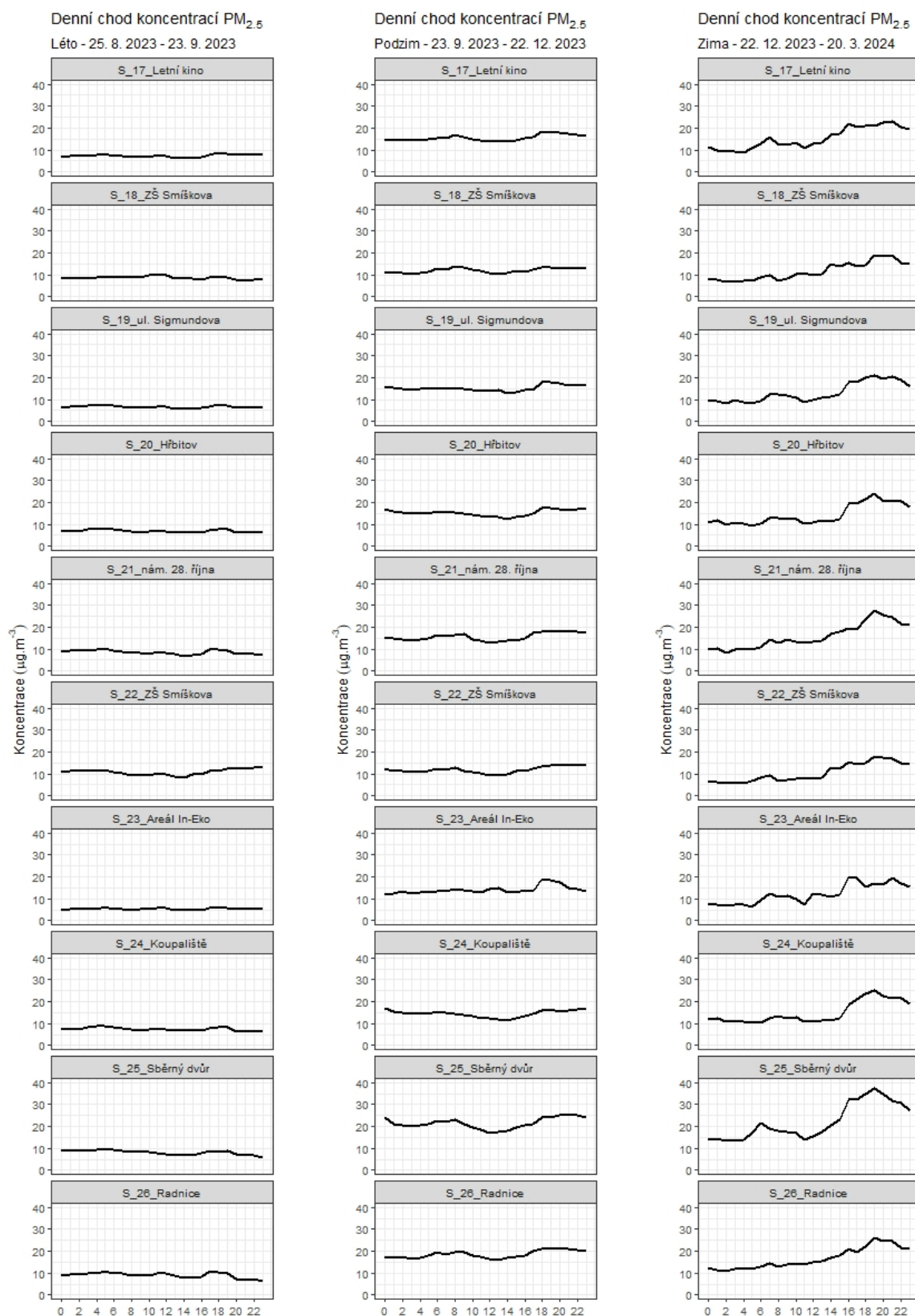
V případě jemnějších frakcí aerosolových částic $PM_{2.5}$ a PM_1 jsou koncentrace v průběhu letních měsíců ustálené bez výraznějších maxim v průběhu dne. Zároveň ve srovnání jednotlivých ročních období byly koncentrace těchto částic nejnižší právě v průběhu letních měření. V průběhu podzimní části kontinuálních měření se obdobně jako v případě frakce PM_{10} začaly projevovat ranní a večerní špičky, ukazující na vyšší intenzitu spalování v lokálních topeništích. Tento jev byl pozorován rovněž v průběhu zimní části měření, opět s výrazným nárůstem koncentrací ve večerních hodinách. Právě v průběhu večerních a nočních hodin dochází obecně ke zvýšení intenzit vytápění, tj. spalování, které je hlavní zdrojem těchto jemnějších frakcí aerosolových částic v ovzduší. Zejména v případě vytápění ve starých kotlech na tuhá paliva (uhlí, dřevo) dochází k produkci aerosolových částic frakcí $PM_{2.5}$ a PM_1 .



Obr. 23: Průměrný denní chod hodinových koncentrací PM₁₀ na všech sledovaných lokalitách

Podpořeno Norskem prostřednictvím Norských fondů

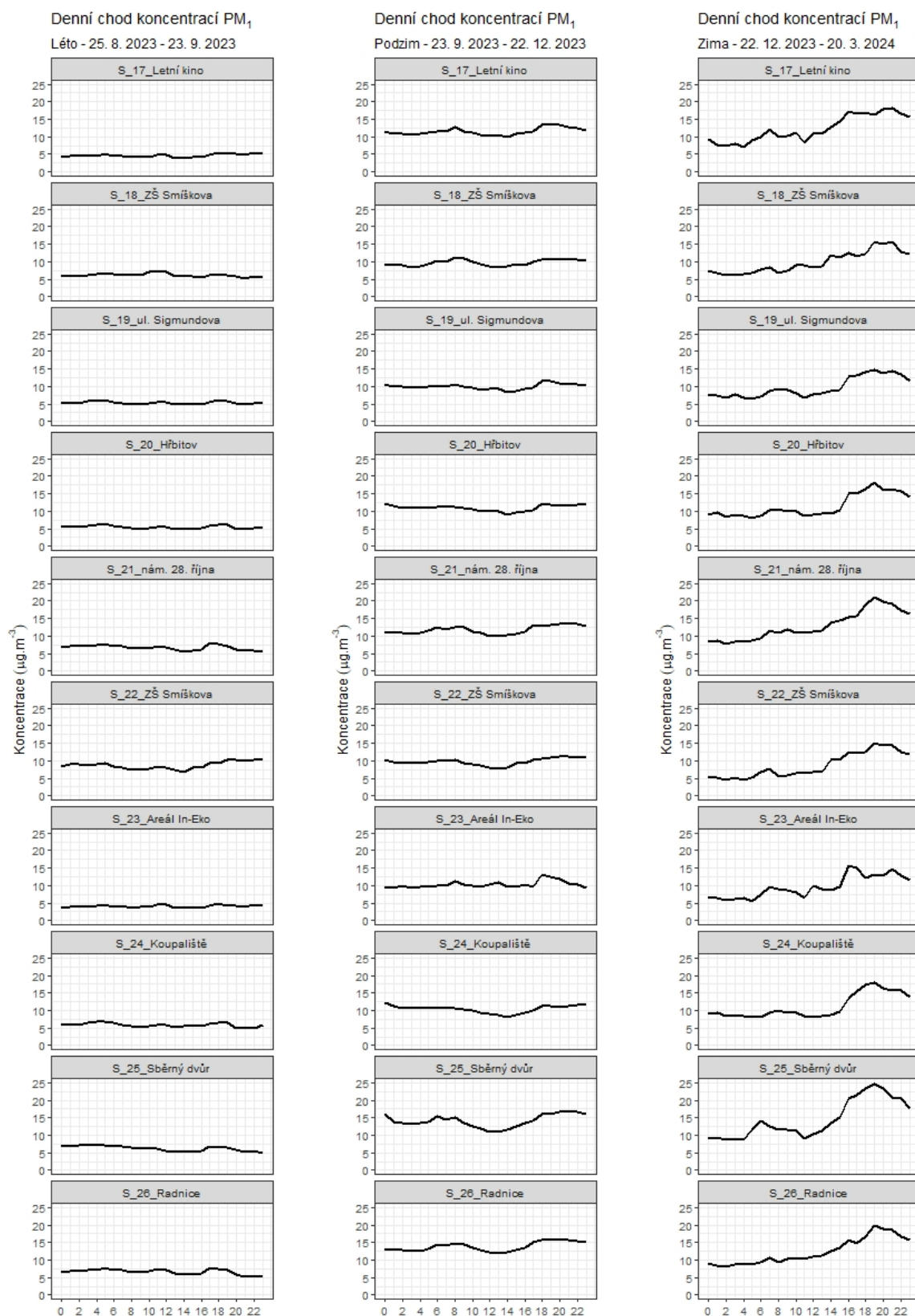
Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov



Obr. 24: Průměrný denní chod hodinových koncentrací PM_{2.5} na všech sledovaných lokalitách

Podpořeno Norskem prostřednictvím Norských fondů

Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov



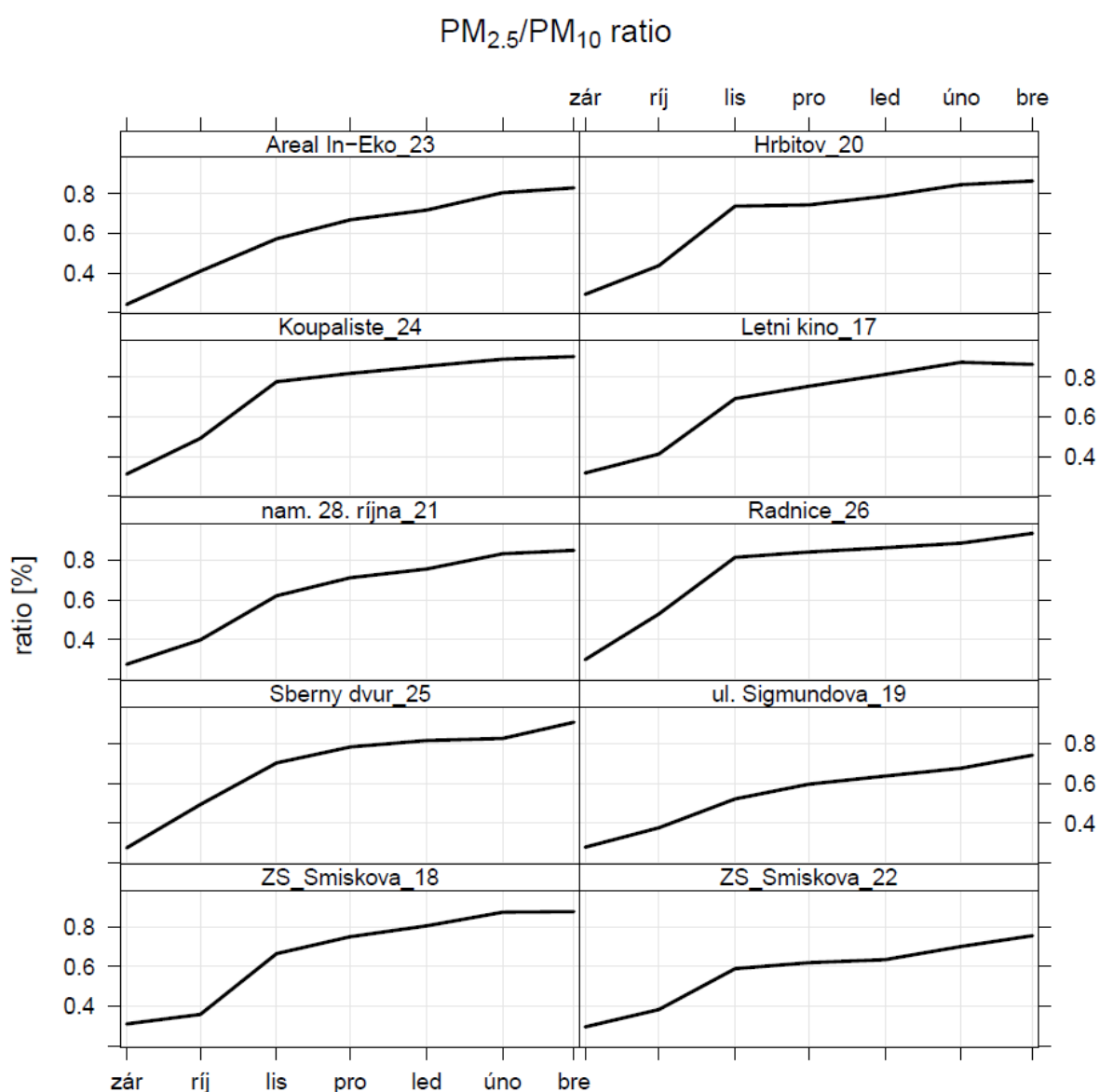
Obr. 25: Průměrný denní chod hodinových koncentrací PM₁ na všech sledovaných lokalitách

Podpořeno Norskem prostřednictvím Norských fondů

Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov

Na Obr. 26 je zobrazen poměr frakcí $PM_{2.5}$ a PM_{10} . Tento poměr není v průběhu roku konstantní a vykazuje sezonní průběh v souvislosti se sezonním charakterem některých emisních zdrojů. Emise původem ze spalovacích zdrojů vykazují vyšší zastoupení frakce $PM_{2.5}$ než například emise ze zemědělské činnosti či resuspenze při suchém a větrném počasí. V zimních měsících dochází se zvyšující se intenzitou vytápění k vyšší produkci částic $PM_{2.5}$ což opět může být důvodem zvyšujícího se poměru $PM_{2.5}/PM_{10}$.

Přesto, že byla měření na území města Tišnov realizována za využití nízkonákladových senzorů, které nemohou plnohodnotně nahradit referenční měřicí techniku, byl na všech lokalitách zaznamenán narůstající poměr $PM_{2.5}/PM_{10}$ v zimních měsících. Naměřené výsledky na všech sledovaných lokalitách ukazují na zvyšující se podíl jemnější frakce v průběhu zimních měsíců, což značí významný podíl lokálních topenišť na kvalitu ovzduší ve městě Tišnov



Obr. 26: Průměrné měsíční poměry koncentrací $PM_{2.5}/PM_{10}$

Podpořeno Norskem prostřednictvím Norských fondů

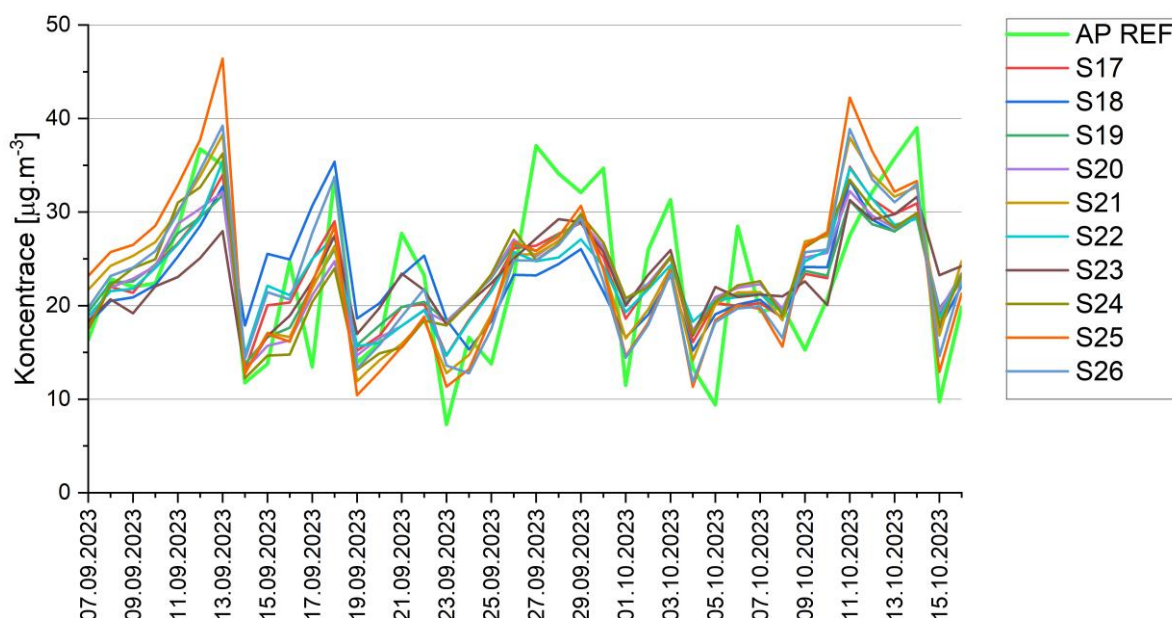
Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov

4 Souměření

Z důvodu zajištění metrologické návaznosti bylo provedeno srovnávací měření (tzv. souměření) senzorických jednotek. Souměření bylo realizováno po dobu 40 dní v období od 7. 9. 2023 12:00 do 16. 10. 2023 23:59 na lokalitě Smíškova a potvrdilo správnou funkčnost senzorických jednotek.

Výsledky souměření jsou zobrazeny pro jednotlivé sledované frakce aerosolových částic formou grafu na Obr. 27-Obr. 29. Na grafech je vždy zeleně vyznačena křivka zobrazující hodnoty z referenčního zařízení. V případě souměření se jedná o srovnání denních průměrů naměřených po dobu 40denního souměření. Z grafů je patrné, že trend senzorických jednotek po dobu trvání souměření koreloval s trendem zařízení Airpointer. Obecně lze říci, že senzorické jednotky velice dobře korelovaly vůči sobě navzájem. V případě aerosolových částic frakce PM_{10} byly měřené hodnoty senzorickými jednotkami přibližně odpovídající referenčnímu zařízení. U jemnějších frakcí pozorujeme v případě senzorické jednotky S18 ze začátku souměření výrazně vyšší hodnoty, v dalším průběhu souměření naopak tato jednotka vykazovala nižší koncentrace. U zbývajících jednotek takovýto jev pozorován nebyl.

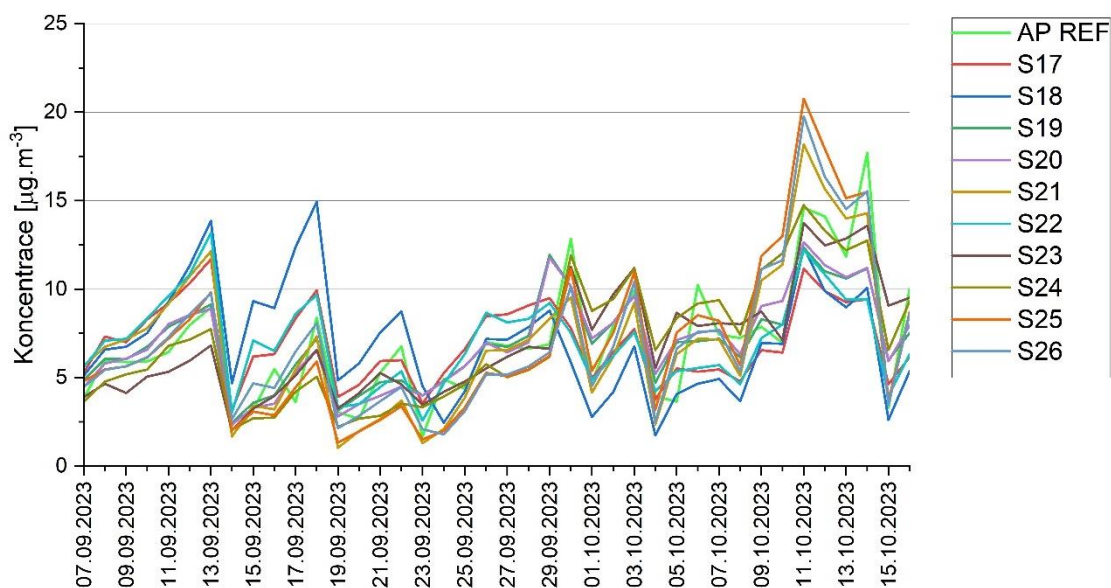
V případě aerosolových částic frakce PM_{10} nejlépe korelovala s referenčním zařízením senzorická jednotka S17, v případě $PM_{2.5}$ senzorická jednotka S26 a v případě PM_1 senzorická jednotka S25. Obecně nejhorší korelace byly pozorovány u jednotek S18 a S22, tyto jednotky byly po ukončení souměření instalovány na lokalitě Smíškova a probíhalo s nimi dlouhodobější souměření za účelem ověření správnosti jejich dat a to po dobu 158 dní (od 7. 9. 2023 do 11. 2. 2024). Výsledky tohoto dlouhodobého souměření jsou vykresleny na Obr. 30-Obr. 32. Z grafů je patrné, že při dlouhodobějším souměření došlo ke srovnání pozorovaného trendu s referenčním zařízením a to u všech sledovaných frakcí. Senzorické jednotky S18 a S22 měly tendenci lehce podměřovat naměřené koncentrace a to zejména v případě pozorovaných maxim u frakce PM_1 .



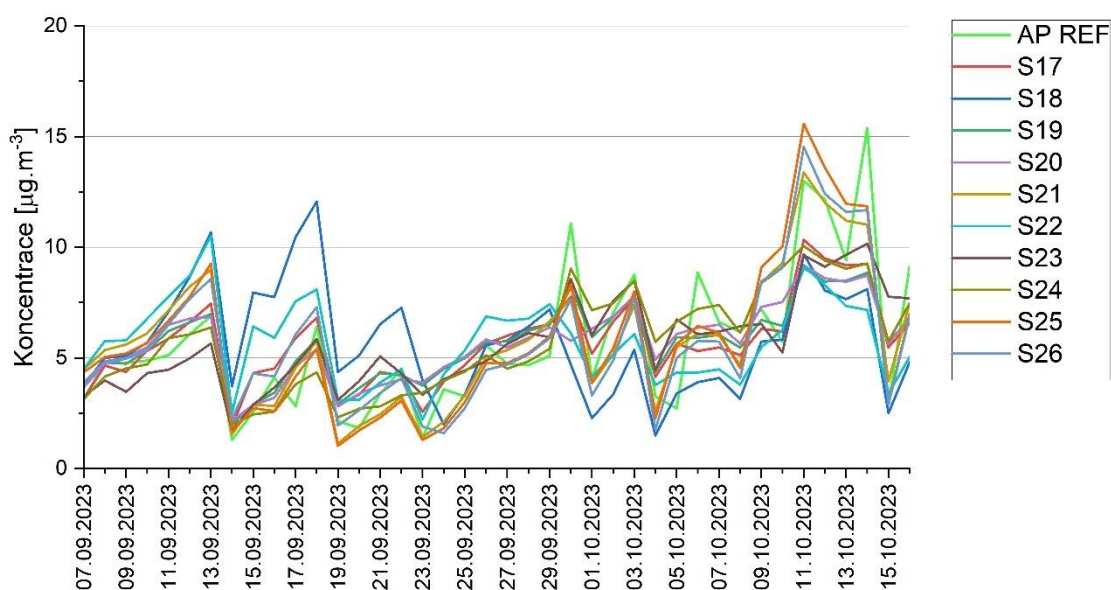
Obr. 27: Výsledky souměření na lokalitě Smíškova pro aerosolové částice frakce PM_{10} , světle zelená křivka reprezentuje referenční měření, zbývajících křivky reprezentují senzorická měření

Podpořeno Norskem prostřednictvím Norských fondů

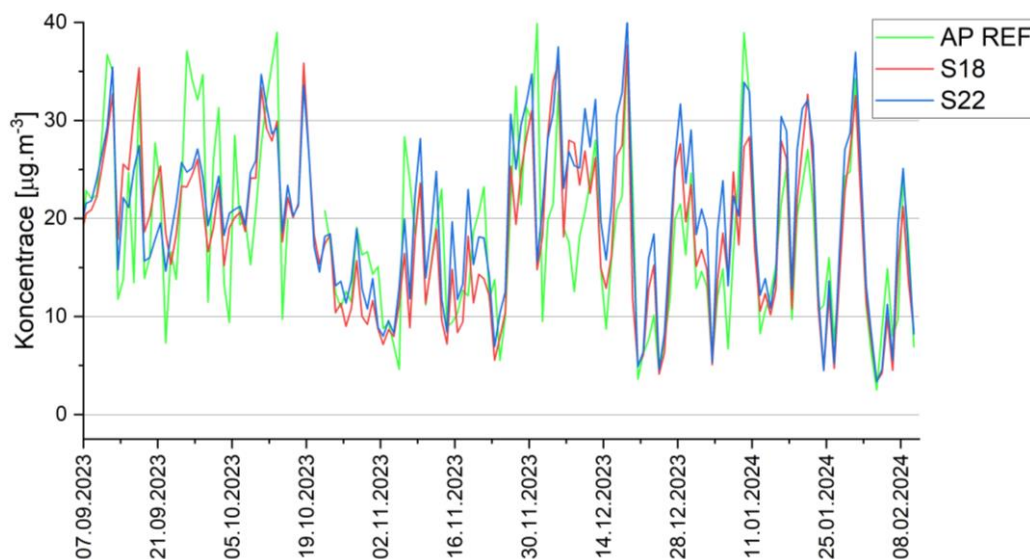
Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov



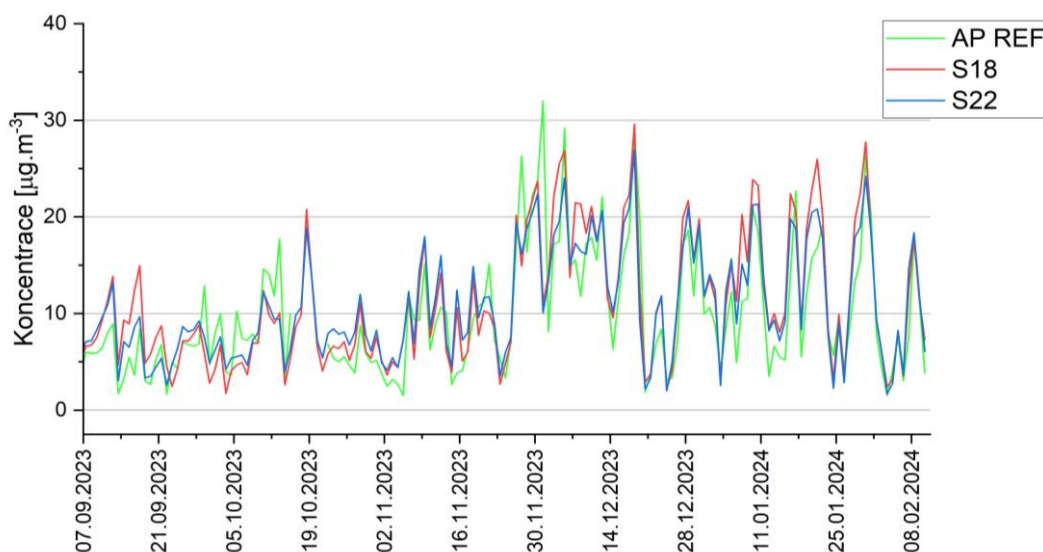
Obr. 28: Výsledky souměření na lokalitě Smíškova pro aerosolové částice frakce $PM_{2.5}$, světle zelená křivka reprezentuje referenční měření, zbývající křivky reprezentují senzorická měření



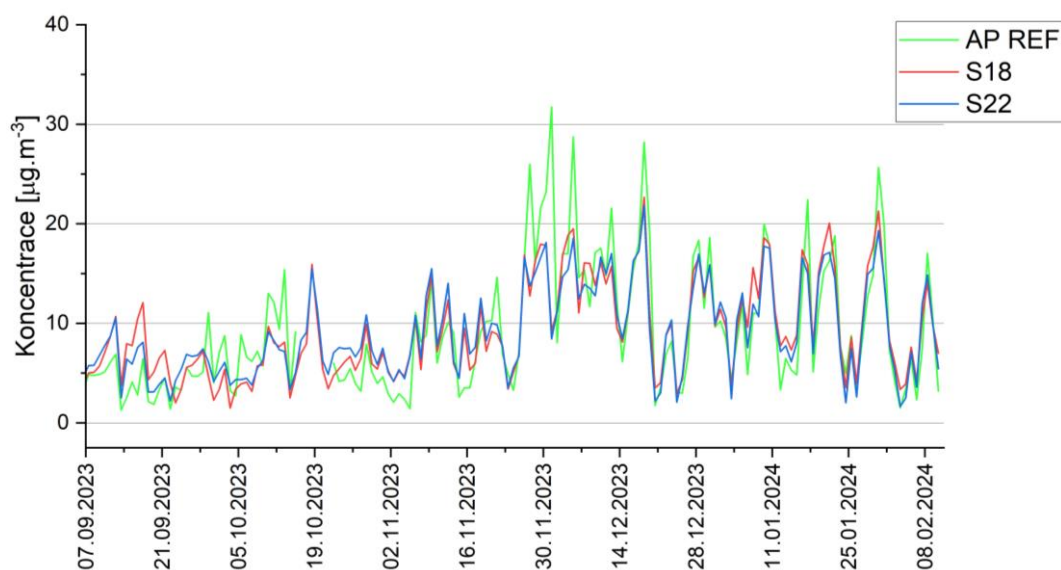
Obr. 29: Výsledky souměření na lokalitě Smíškova pro aerosolové částice frakce PM_1 , světle zelená křivka reprezentuje referenční měření, zbývající křivky reprezentují senzorická měření



Obr. 30: Výsledky dlouhodobého souměření na lokalitě Smíškova pro aerosolové částice frakce PM₁₀, světle zelená křivka reprezentuje referenční měření, zbývající křivky reprezentují senzorická měření



Obr. 31: Výsledky dlouhodobého souměření na lokalitě Smíškova pro aerosolové částice frakce PM_{2.5}, světle zelená křivka reprezentuje referenční měření, zbývající křivky reprezentují senzorická měření



Obr. 32: Výsledky dlouhodobého souměření na lokalitě Smíškova pro aerosolové částice frakce PM_{10} , světle zelená křivka reprezentuje referenční měření, zbývající křivky reprezentují senzorická měření

5 Závěr

V průběhu měření byl prokázán vliv lokálních topenišť na kvalitu ovzduší ve městě Tišnov. Srovnání denního chodu v jednotlivých obsažených ročních obdobích ukazuje na výrazný růst koncentrací aerosolových částic v zimních měsících v průběhu odpoledních až večerních hodin. Ve srovnání zimních měsíců s letními měřeními je tento jev nejlépe patrný při pohledu na jemnější frakce aerosolových částic $PM_{2.5}$ a PM_{10} .

Na území města Tišnov převládalo po dobu měření jihovýchodní proudění, které bylo zaznamenáno na dvou lokalitách, kde probíhal paralelní monitoring meteorologických podmínek, a to na lokalitě Hřbitov a Koupaliště. Naměřené údaje o teplotě, relativní vlhkosti a tlaku na těchto dvou lokalitách byly fakticky identické. Pro potřeby tvorby koncentračních růžic byly vypočteny průměrné hodnoty pro směr a rychlost větru (a to z důvodu významné podobnosti těchto dvou navzájem odlehlých lokalit vzdálených vzdušnou čarou přibližně 2 km). Z výsledků koncentračních růžic vyplývá, že ke znečištění na většině z lokalit přispívají zejména menší intenzity rychlosti větru, což ukazuje na lokální vliv. Při analýze denního chodu byly měřeny na lokalitách nejvyšší koncentrace v průběhu večerních až nočních hodin a to ze severovýchodního směru (proudění z tohoto směru však není příliš četné).

V případě srovnání jednotlivých monitorovaných lokalit nebyl pozorovaný výraznější rozdíl v měřených trendech. Nejvyšší koncentrace byly měřeny na lokalitě Sběrný dvůr, naopak nejnižší koncentrace byly měřeny v případě lokality Smíškova. Na lokalitě Sběrný dvůr se na kvalitě ovzduší podílí mimo lokálních topenišť také jak už samotná činnost v rámci sběrného dvora, tak také potencionálně přilehlé průmyslové areály, případně také blízká železniční trať.

Na všech monitorovaných lokalitách byl patrný vliv teploty vzduchu na koncentrace aerosolových částic, kdy s klesající teplotou vzduchu docházelo k růstu koncentrací aerosolových částic. Dobře patrné jsou chladné dny v rozmezí listopad-prosinec a následné oteplení kolem 21. prosince 2023, kdy došlo k výraznému poklesu koncentrací aerosolových částic v ovzduší. Nejchladnější dny byly sledovány v průběhu druhého lednového týdne.

Výsledky realizovaného projektu dále ukazují na možnosti využití nízkonákladových senzorických jednotek pro orientační měření kvality ovzduší, a to za dodržení podmínek měření, kdy je potřeba nejprve provést srovnávací měření s referenční technikou pro nastavení koeficientu měření. Dále je potřeba pravidelná kontrola naměřených dat, které jsou měřeny nízkonákladovými senzory, sledovat průběžně měřené trendy a funkčnost jednotlivých použitých senzorických jednotek. Limity senzorických měření byly zaznamenány na přelomu měsíců březen a duben, kdy jednotky nebyly schopné detekovat výrazný nárůst koncentrací aerosolových částic, zejména frakce PM_{10} pocházející z přechodu saharského prachu.

Naměřená data ukazují na vliv lokálních topenišť a spalování pevných paliv na kvalitu ovzduší, v průběhu měření byl pozorován významný nárůst koncentrací aerosolových částic v zimních měsících (zejména v případě jemnějších frakcí). Mezi jednotlivými lokalitami nebyl zaznamenán významnější rozdíl. Na 5 lokalitách senzorické jednotky zaznamenaly překročení hodnoty pro denní imisní limit, a to konkrétně na lokalitách Letní kino (3x), ul. Sigmundova (4x), Hřbitov (3x), nám. 28. října (3x) a Sběrný dvůr (17x) (imisní limit nebyl překročen na žádné z lokalit, o překročení imisního limitu se jedná až v případě 36 překročení jeho hodnoty). Z hlediska koncentrací aerosolových částic se jako nejproblematictější jeví lokalita sběrného dvora (na znečištění ovzduší se zde podílí jak samotná

Podpořeno Norskem prostřednictvím Norských fondů

Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov

činnost v rámci sběrného dvora, tak také blízkost železniční trati, průmyslových areálů a dále také potencionální zdroje lokálních topenišť). Hodnota ročního imisního limitu pro PM_{10} ($40 \mu g \cdot m^{-3}$) a $PM_{2.5}$ ($20 \mu g \cdot m^{-3}$) nebyla překročena. Průměrná koncentrace pro PM_{10} ze všech lokalit za sledované období byla $20,68 \mu g \cdot m^{-3}$, pro $PM_{2.5}$ $13,52 \mu g \cdot m^{-3}$. Z analýzy poměrů frakcí aerosolových částic $PM_{2.5}/PM_{10}$ je pozorován růst poměru v zimních měsících, což odpovídá celorepublikovému srovnání, kdy v zimních měsících se vlivem zvýšené intenzity spalování (zejména v lokálních topeništích) zvyšuje podíl jemnější frakce částic v ovzduší

6 Literatura

ČHMÚ. (2023). *Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2022*.

Fuzzi, S., Baltensperger, U., Carslaw, K., Decesari, S., Denier van der Gon, H., Facchini, M. C., Fowler, D., Koren, I., Langford, B., Lohmann, U., Nemitz, E., Pandis, S., Riipinen, I., Rudich, Y., Schaap, M., Slowik, J. G., Spracklen, D. V., Vignati, E., Wild, M., ... Gilardoni, S. (2015). Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(14), 8217–8299. <https://doi.org/10.5194/acp-15-8217-2015>

MŽP. (2012). *Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší ve znění pozdějších předpisů*.

Vojtíšek, M. (2010). O provozu vznětových motorů a aerosolech jimi produkovaných v městských aglomeracích. In J. Smolík (Ed.), *Konference ČAS 2010. Sborník konference*. Česká aerosolová společnost.

7 Seznam obrázků

Obr. 1: Srovnání velikostí částic PM ₁₀ a PM _{2,5} s lidským vlasem a zrnkem písku	6
Obr. 2: Geografická mapa města Tišnov (Zdroj: mapy.cz)	7
Obr. 3: Cílové oblasti pro umístění senzorických jednotek	8
Obr. 4: Grafické znázornění sledovaných lokalit na území města Tišnov	9
Obr. 5: Jednotlivé lokality, zleva od vrchu – Radnice, ul. Sigmundova, Hřbitov, Letní kino, Areál společnosti In-Eko, Areál koupaliště, ZŠ Smíškova, náměstí 28. října, Sběrný dvůr	10
Obr. 6: Senzorické jednotky enviDUST (vlevo), meteorostanice enviMET (vpravo)	11
Obr. 7: Měřicí technika využitá při souměření – vlevo Airpointer (Recordum Messtechnik GmbH, Rakousko), vpravo odběrové zařízení Sven Leckel MVS6 a SEQ47/50	11
Obr. 8: Průměrná denní teplota vzduchu na lokalitách hřbitov a koupaliště	12
Obr. 9: Průměrná denní teplota vzduchu na lokalitách hřbitov a koupaliště	13
Obr. 10: Průměrné denní rychlosti větru na lokalitách hřbitov a koupaliště	13
Obr. 11: Větrná růžice členěná dle rychlosti a směru větru, lokality hřbitov (vlevo) a koupaliště (vpravo)	14
Obr. 12: Denní průměry koncentrace jednotlivých frakcí aerosolových částic na monitorovaných lokalitách	16
Obr. 13: Měsíční průměry jednotlivých frakcí aerosolových částic na monitorovaných lokalitách	17
Obr. 14: Vývoj průměrných denních koncentrací PM ₁₀ v závislosti na teplotě	19
Obr. 15: Vývoj průměrných denních koncentrací PM _{2,5} v závislosti na teplotě	20
Obr. 16: Vývoj průměrných denních koncentrací PM ₁ v závislosti na teplotě	21
Obr. 17: Vývoj průměrných denních koncentrací PM ₁₀ v závislosti na relativní vlhkosti	22
Obr. 18: Vývoj průměrných denních koncentrací PM _{2,5} v závislosti na relativní vlhkosti	23
Obr. 19: Vývoj průměrných denních koncentrací PM ₁ v závislosti na relativní vlhkosti	24
Obr. 20: Koncentrační růžice pro PM ₁₀ pro všechny monitorované lokality	26
Obr. 21: Vážená koncentrační růžice pro PM ₁₀ pro všechny monitorované lokality	27
Obr. 22: Denní chod koncentrací PM ₁₀ na všech monitorovaných lokalitách	29

Podpořeno Norskem prostřednictvím Norských fondů

Návrh a realizace sítě pro měření kvality ovzduší ve městě Tišnov

Obr. 23: Průměrný denní chod hodinových koncentrací PM_{10} na všech sledovaných lokalitách	31
Obr. 24: Průměrný denní chod hodinových koncentrací $PM_{2.5}$ na všech sledovaných lokalitách	32
Obr. 25: Průměrný denní chod hodinových koncentrací PM_1 na všech sledovaných lokalitách	33
Obr. 26: Průměrné měsíční poměry koncentrací $PM_{2.5}/PM_{10}$	34
Obr. 27: Výsledky souměření na lokalitě Smíškova pro aerosolové částice frakce PM_{10} , světle zelená křivka reprezentuje referenční měření, zbývající křivky reprezentují senzorická měření	35
Obr. 28: Výsledky souměření na lokalitě Smíškova pro aerosolové částice frakce $PM_{2.5}$, světle zelená křivka reprezentuje referenční měření, zbývající křivky reprezentují senzorická měření	36
Obr. 29: Výsledky souměření na lokalitě Smíškova pro aerosolové částice frakce PM_1 , světle zelená křivka reprezentuje referenční měření, zbývající křivky reprezentují senzorická měření	36
Obr. 30: Výsledky dlouhodobého souměření na lokalitě Smíškova pro aerosolové částice frakce PM_{10} , světle zelená křivka reprezentuje referenční měření, zbývající křivky reprezentují senzorická měření	37
Obr. 31: Výsledky dlouhodobého souměření na lokalitě Smíškova pro aerosolové částice frakce $PM_{2.5}$, světle zelená křivka reprezentuje referenční měření, zbývající křivky reprezentují senzorická měření	37
Obr. 32: Výsledky dlouhodobého souměření na lokalitě Smíškova pro aerosolové částice frakce PM_1 , světle zelená křivka reprezentuje referenční měření, zbývající křivky reprezentují senzorická měření	38