

Zhodnocení vlivu hydrické rekultivace hnědouhelných lomů na kvalitu ovzduší na území Ústeckého kraje

Ing. Jan Brejcha

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most, brejcha@vuuh.cz

Přijato: 30. 10. 2019, recenzováno: 18. a 20. 11. 2019

Abstrakt

Článek shrnuje výsledky „Studie dopadu hydrické rekultivace povrchových lomů na kvalitu ovzduší a mikroklima na území Ústeckého kraje“. Studie navazovala na výsledky projektu „Dopady na mikroklima, kvalitu ovzduší, ekosystémy vody a půdy v rámci hydrické rekultivace hnědouhelných lomů“, který byl řešen s podporou TAČR pod č. TA01020592 v letech 2011 až 2014. Na základě vyhodnocení naměřených dat lze předpokládat, že změna mikroklimatických podmínek na rekultivované ploše, včetně jezera Most, nezmění klimatické podmínky natolik, aby jimi byl významněji ovlivněn vývoj úrovně znečištění v lokalitě.

Evaluation of the impact of hydric reclamation of brown coal open pit mines on fresh air quality in the Ústí region

The article provides the results of the "Study of the impact of hydric reclamation of surface mines on fresh air quality and microclimate in the Ústí region". The study upgrades the results of the project "Impacts on microclimate, air quality, water and soil ecosystems within the framework of the hydric reclamation of brown coal open pit mines", which was carried on with the support of Technology Agency of Czech Republic under No. TA01020592 within the period 2011 to 2014. Based on the evaluation of the measured data, it can be assumed that the change in microclimatic conditions on the reclaimed area of and including Lake Most, will not change climatic conditions enough to significantly affect the development of the pollution level in the whole area of region.

Bewertung der Wirkung der Hydrekultivierung von Braunkohletagebauen auf die Luftqualität auf dem Gebiet der Region Ústí nad Labem

Der Artikel fasst Ergebnisse der „Studie der Einwirkung der Hydrekultivierung von Tagebauen auf die Luftqualität und das Mikroklima auf dem Gebiet der Region Ústí nad Labem“ zusammen. Die Studie knüpfte an die Ergebnisse des Projektes „Einwirkungen auf das Mikroklima, die Luftqualität, Ökosysteme des Wassers und des Bodens im Rahmen der Hydrekultivierung von Braunkohletagebauen“ an, das mit der Unterstützung von TAČR unter der Nr. TA01020592 in Jahren 2011 bis 2014 gelöst wurde. Auf Basis der Bewertung von gemessenen Daten kann angenommen werden, dass die Änderung von mikroklimatischen Bedingungen auf der rekultivierten Flächen einschl. des Sees Most, wird die Klimabedingungen nicht zu viel ändern, damit diese die Entwicklung des Verschmutzungsniveaus bedeutender beeinflussen könnten.

Klíčová slova: Jezero Most, Mostecká pánev, rozptylové podmínky, teplotní gradient.

Keywords: Lake Most, Most Basin, dispersion conditions, temperature gradient.

1 Úvod

Těžba hnědého uhlí v Mostecké a Sokolovské pánvi postupně transformuje strukturu i funkce velkých územních celků podkrušnohorské krajiny. Úkolem těžebních společností je všechna těžbou postižená území rekultivovat. Horní zákon jim ukládá „odstraňovat škody na krajině komplexní úpravou území a územních struktur“. Největší plocha určená k rekultivaci je v Ústeckém kraji. Plány na rekultivaci hnědouhelných lomů, které se mají po vyčerpání zásob uhlí zatopit, počítají v Ústeckém kraji po roce 2035 s celkem šesti novými velkými jezery o rozloze zhruba 3 380 hektarů s celkovým objemem vody 1 370 milionů m³. Ústecký kraj tak bude v budoucnosti krajem jezer - vodou zatopených lomů. Rekultivační práce zahrnují nejen tvorbu jezer, ale i péči o jejich okolí, o vytvoření funkčního ekosystému.

V Mostecké pánvi byly zatím realizovány dvě hydrické rekultivace, a to zbytkové jámy lomu Chabařovice (jezero Milada) a lomu Most – Ležáky (jezero Most). Napouštění Jezera Milada do kóty provozní hladiny (hladina stálého nadrž-

žení) 145,7 m n. m. bylo dokončeno v srpnu 2010. Zatopená plocha je zde 252,2 ha, objem vody 35,6 mil. m³ a maximální hloubka 25,3 m. Napouštění jezera Most bylo zahájeno 24. 10. 2008. Ke dni 25. 6. 2012 bylo napouštění jezera Most přerušeno z důvodu naplnění smlouvy o dodávce vody sepsané mezi PF ČR a Povodím Ohře, s.p. (naplnění plánovaného objemu vody, hladina +198,06 m n. m.). Dopouštění jezera Most bylo zahájeno v květnu roku 2014 na kótu konečné hladiny stálého nadržování 199,00 m n. m. Kóty stálého nadržování bylo dosaženo v září 2014. Zatopená plocha je zde 309,4 ha, objem vody 70,5 mil. m³ a maximální hloubka 75,0 m [1,2].

Komplexní vliv hydrické rekultivace původního hnědouhelného lomu na mikroklima, ekosystém a na kvalitu ovzduší dosud v České republice nebyl studován. Z tohoto důvodu byl od roku 2011 realizován čtyřletý výzkumný projekt „Dopady na mikroklima, kvalitu ovzduší, ekosystémy vody a půdy v rámci hydrické rekultivace hnědouhelných lomů“. Projekt byl řešen s podporou TAČR pod č. TA01020592. Na řešení projektu se mimo VÚHU a.s. podílely i Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i. a Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí

nad Labem. Od roku 2011 byl tak systematicky sledován vliv postupně napouštěného jezera Most na kvalitu ovzduší v jeho okolí, a to zejména z hlediska zjištění významnosti změn kvality ovzduší blízkého okolí jezera, ke kterým dochází v souvislosti s vývojem mikroklimatu zájmového území. Výhodou při řešení projektu z hlediska mikroklimatu byla možnost využití dat z blízké meteorologické observatoře ÚFA AV ČR, v.v.i. v Kopistech. Měření bylo směřováno na získání souboru dat pro hodnocení trendů vývoje kvality ovzduší v souvislosti s časovými a prostorovými změnami mikroklimatu. Pro doplnění těchto podkladů o situaci po dokončení naplnění jezera bylo prováděno v období od ledna 2018 do března 2019 další měření v rámci „Studie dopadů hydrické rekultivace hnědouhelných lomů na kvalitu ovzduší a mikroklima“, která byla podporována Ústeckým krajem. Měření bylo rozšířeno i na monitorování situace v okolí jezera Milada. Cílem studie bylo posoudit, zda tento způsob rekultivace zbytkových jam nebude pro region znamenat zhoršení kvality ovzduší. Při řešení byla aplikována v oblasti hodnocení znečištění metodika [3], která byla jedním z výstupů projektu „Dopady na mikroklima, kvalitu ovzduší, ekosystémy vody a půdy v rámci hydrické rekultivace hnědouhelných lomů“.

2 Metodika řešení projektu

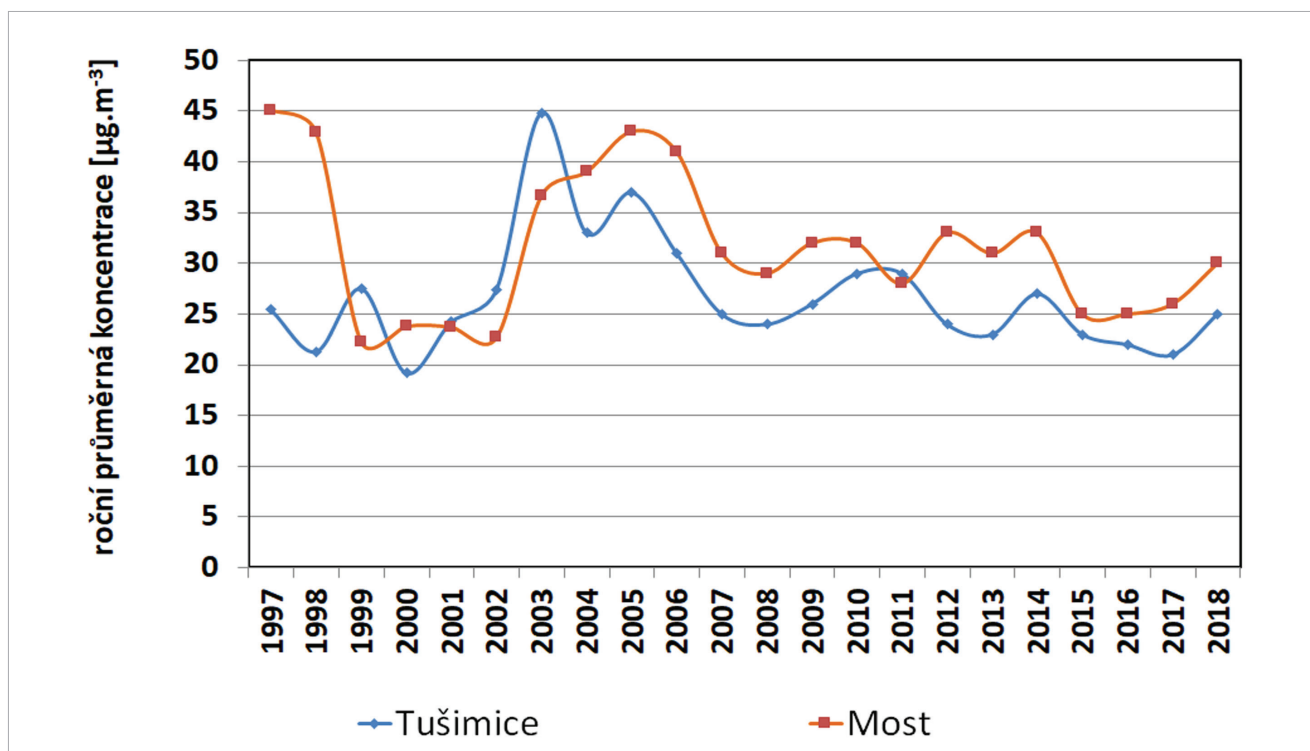
Metoda hodnocení byla založena na zjištění významnosti rozdílů úrovně znečištění v oblasti jezera oproti úrovni znečištění lokality centrální části pánve. Úroveň znečištění je významně závislá na rozptylových podmínkách. Hodnocena proto byla nejenom úroveň znečištění v závislosti na vzdálenosti od oblasti jezera, ale i vybrané meteorologické veličiny, které souvisejí s vývojem rozptylových podmínek. Vývoj a doba trvání rozptylových podmínek jsou závislé jednak na meteorologických veličinách, ale i na morfologii lokality.

2.1 Měřené veličiny

Ze znečišťujících látek byla jako nejvýhodnější pro hodnocení kvality ovzduší v prostoru Mostecké pánve doporučena koncentrace atmosférického aerosolu frakce PM_{10} (dále jen jako PM_{10}). Koncentrace PM_{10} v ovzduší je nejvyšší v oblastech, v nichž je lokalizována hlavně průmyslová činnost a těžba nerostných surovin prováděná povrchovým způsobem, tj. v podstatě v místech, kde se plánuje vznik velkých vodních ploch ve zbytkových jámách po povrchové těžbě. Všechny stacionární stanice celostátního měření imisí i stanice účelových sítí, které jsou v lokalitě provozované, měří koncentrace PM_{10} .

Dlouhodobý vývoj úrovně koncentrace PM_{10} v Mostecké pánvi charakterizuje průběh ročních průměrných koncentrací PM_{10} na stanicích ČHMÚ Most a Tušimice na obrázku č. 1 v období let 1997 až 2018 [4].

Uvedené průběhy koncentrací se do roku 2014 téměř shodují s popisem vývoje koncentrací PM_{10} v České republice, který je uveden v Grafické ročence ČHMÚ z roku 2014 [5], zejména průběh ze stanice Tušimice. Koncentrace PM_{10} , podobně jako dalších látek znečišťujících ovzduší, významně poklesly v 90. letech minulého století. Důvodem bylo výrazné snížení emisí TZL a prekurzorů aerosolových částic (SO_2 , NO_x , NH_3 a VOC) v letech 1990–2001, ke kterému došlo v důsledku legislativních změn, restrukturalizace hospodářství a modernizace nebo ukončení provozů zdrojů. Po roce 2001 pokles emisí pokračuje již pomaleji. Roční variabilita koncentrace znečišťujících látek po tomto období byla převážně na rozptylových podmínkách v daném roce. Téměř na všech lokalitách ČR byl od roku 2001 do roku 2003 patrný vzestupný trend ve znečištění ovzduší PM_{10} . Vysoké koncentrace PM_{10} v roce 2003 byly důsledkem jak nepříznivých rozptylových podmínek v únoru a prosinci, tak i podnormálního



Obr. 1: Průběh ročních průměrných koncentrací PM_{10} na stanicích ČHMÚ Most a Tušimice.

množství srážek. Po zakolísání v roce 2004 byly vysoké koncentrace atmosférického aerosolu zaznamenány opět v letech 2005 a 2006, a to zejména v důsledku dlouhých epizod s nepříznivými rozptylovými podmínkami v zimním období.

V letech 2007–2008 panovaly naopak příznivější rozptylové podmínky, a koncentrace částic v porovnání s lety 2003, 2005 a 2006 výrazně klesly. V dalším období je variabilita úrovně koncentrací PM_{10} dána zejména opakovaným výskytem nepříznivých meteorologických a rozptylových podmínek v zimním období. Na stanici Tušimice je patrný mírně klesající trend a průběh na stanici Most lze označit jako stagnující. Lze předpokládat, že v současné době, kdy nedochází k zvyšování počtu významných zdrojů znečištění, jsou významným prvkem ovlivňujícím úroveň znečištění rozptylové podmínky.

Meteorologickými veličinami, kterými lze charakterizovat rozptylové podmínky, nebo veličinami, na kterých jsou rozptylové podmínky závislé, jsou:

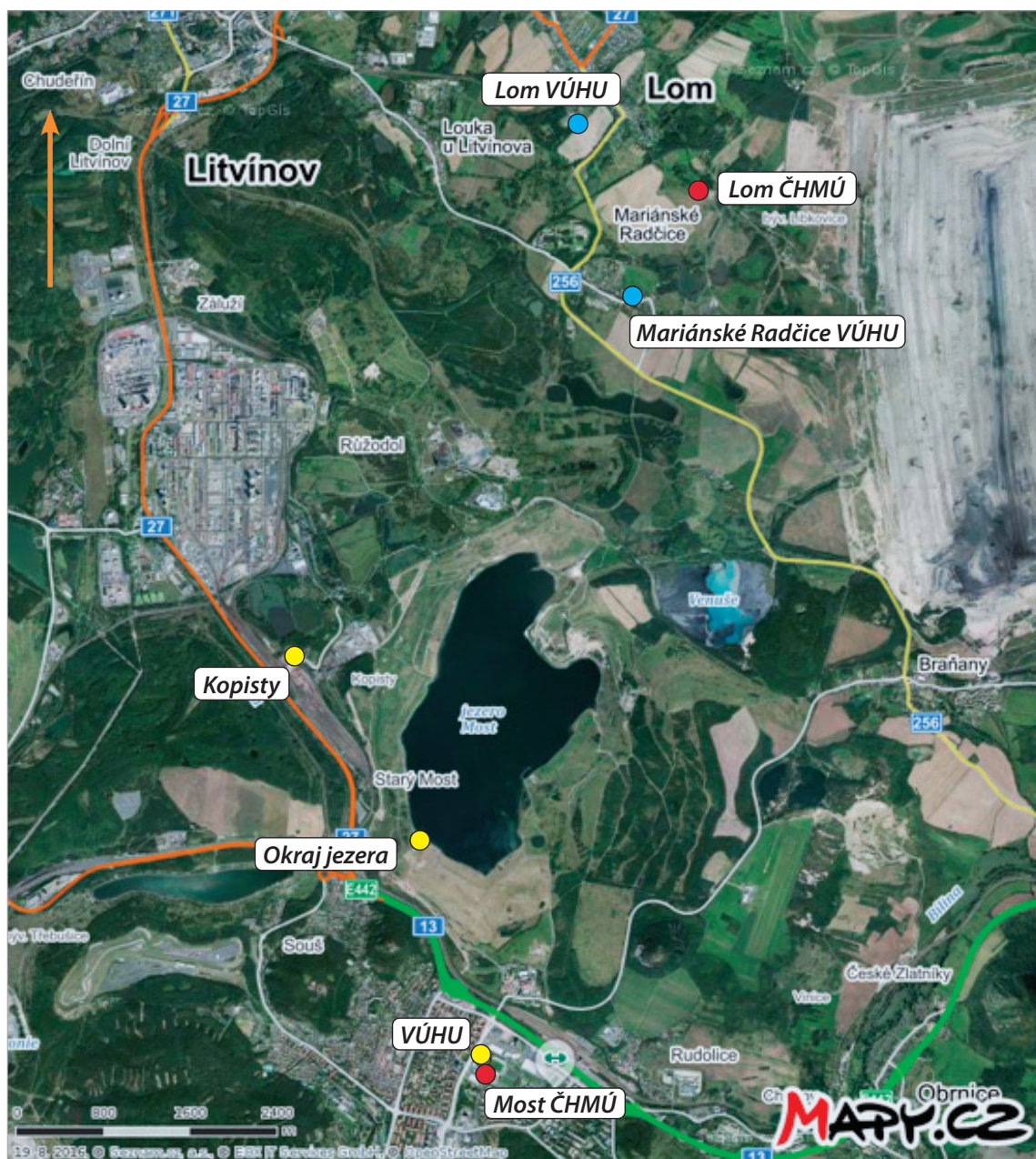
- směr větru (nezbytný parametr při hodnocení přenosu znečišťujících látek),
- rychlost větru,
- teplota vzduchu,
- teplota zemského povrchu,
- doba slunečního svitu,
- intenzita slunečního záření.

Jako doplňkové byly při hodnocení situace použity i tyto veličiny:

- denní charakteristika regionálních rozptylových podmínek,
- relativní vlhkost vzduchu.

2.2 Stanice měření znečištění ovzduší v okolí jezera Most

V rámci projektu byly v lokalitě a okolí jezera Most provozovány měřicí stanice Most VÚHU (umístěná na střeše budovy $h = 20$ m), jezero Most (jižní okraj jezera Most), Kopisty



Obr. 2: Poloha měřicích stanic v lokalitě jezera Most [6]



Obr. 3: Stanice pro kontinuální měření PM_{10} a meteorologických veličin VÚHU.



Obr. 4: Stanice pro kontinuální měření PM_{10} a meteorologických veličin na okraji jezera Most.



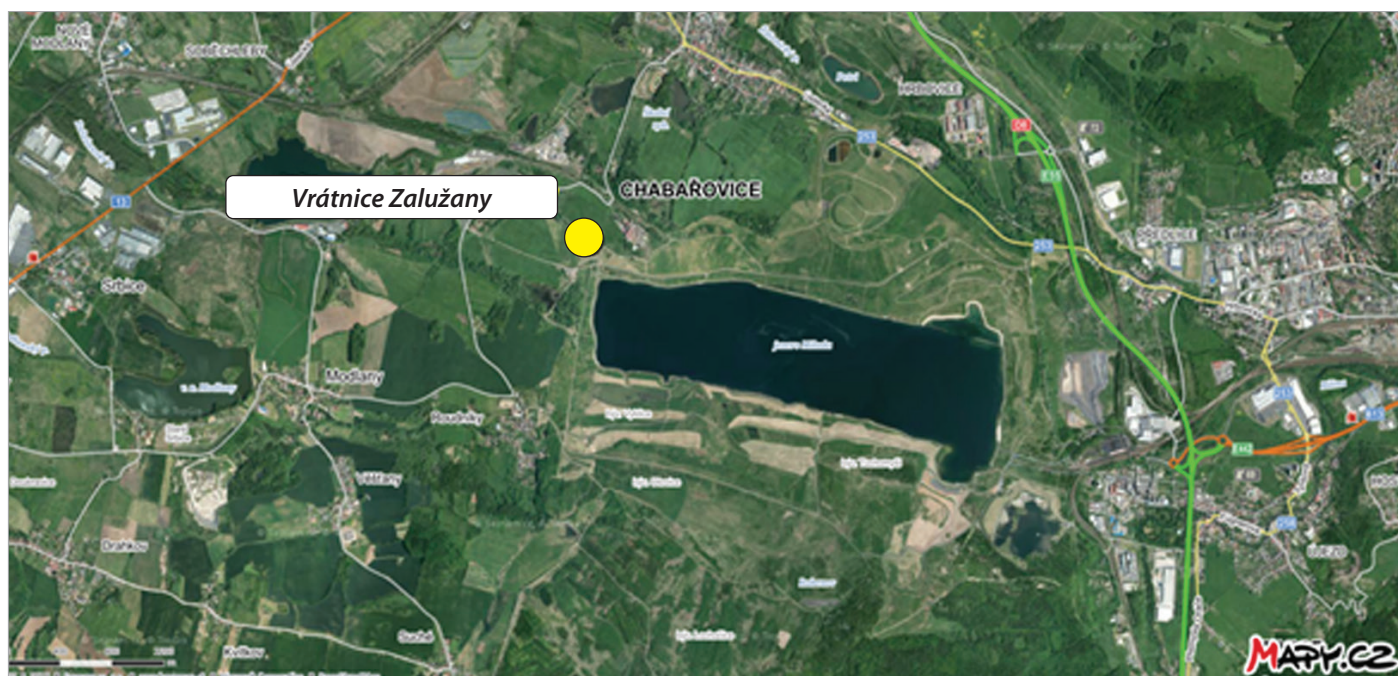
Obr. 5: Stanice pro kontinuální měření PM_{10} v Kopistech.

(observatoř Ústavu fyziky atmosféry AV ČR). V okolí jezera Most jsou pak Českým hydrometeorologickým ústavem provozovány stanice Most a Lom a Výzkumným ústavem pro hnědé uhlí a.s. stanice Mariánské Radčice a Lom. Poloha stanic v lokalitě jezera Most umožní přibližně v ose sever-jih popsat úroveň změn teploty, vlhkosti i koncentrace PM_{10} v souvislosti s prouděním vzduchu a sluneční radiací (viz obrázek č. 2). Fota stanic jsou uvedena na obrázcích č. 3 až 5.

Na stanicích provozovaných v rámci projektu byly kontinuálně měřeny koncentrace PM_{10} a mimo stanice Kopisty i meteorologické podmínky (směr a rychlost větru, teplota, relativní vlhkost vzduchu, sluneční radiace a barometrický tlak). Pro měření koncentrace PM_{10} byly použity beta-prachoměry FH62IR s odběrovou hlavici pro separaci vzdušného aerosolu frakce PM_{10} a meteorologická stanice Baghirra - teplota [-50 až 100 °C], relativní vlhkost vzduchu [2 až 98 %] – kombinované

čidlo HST pro stanovení teploty a relativní vlhkosti, sluneční radiace – SG pyranometr [0 až 1 200 $W \cdot m^{-2}$], barometrický tlak – čidlo absolutního tlaku TS [900 až 1 060 hPa], směr a rychlost větru – Gill WindSonic nebo Gill WindMaster [0 až 360°, 0 až 60 $m \cdot s^{-1}$].

Pro hodnocení vztahu mezi znečištěním ovzduší a meteorologickými veličinami byl k dispozici i poměrně široký rozsah dat poskytovaný observatoří z měřicího stožáru v observatoři Ústavu fyziky atmosféry AV ČR Kopisty (teplota a vlhkost vzduchu ve 2 m, tlak vzduchu, směr a rychlost větru, doba trvání slunečního svitu, vodorovná dohlednost, teploty půdy v 5, 10, 20, 50 a 100 cm pod povrchem, množství srážek, stav počasí, stav půdy, pokrytí oblohy oblačností a výška její spodní základny, včetně stožárových měření teploty a vlhkosti vzduchu ve výškách 20, 40, 60 a 80 m a směru a rychlosti větru ve výškách 40 a 80 m).



Obr. 6: Poloha měřicí stanice u jezera Milada. [6]



Obr. 7: Stanice pro kontinuální měření PM_{10} a meteorologických veličin na okraji jezera Milada.

Tab. 1: Časové pokrytí sběru 24hodinových hodnot měření koncentrace PM_{10} .

Stanice	Kopisty	jezero Most	Most VÚHU	jezero Milada
Pokrytí sběru dat (%)	99,6	98,7	98,7	96,1

Pro porovnání se stavem v okolí jezera Most se provádělo i kontinuální měření koncentrace PM_{10} a meteorologických veličin v blízkosti okraje jezera Milada u Chabařovic. Poloha měřicího stanoviště u Zalužanské vrátnice je uvedena na obrázku č. 6. Foto stanice je uvedeno na obrázku č. 7.

V tabulce 1 je uvedeno časové pokrytí sběru 24 hodinových hodnot měření koncentrace PM_{10} na stanicích provozovaných v rámci tohoto projektu od 1. 1. 2018 do 31. 3. 2019. Vyhláškou č. 330/2012 Sb., o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích je požadováno pro stacionární stanice 90%ní pokrytí sběru dat.

3 Shrnutí naměřených a převzatých dat

Z celé škály dat získaných vlastním měřením nebo převzatých z jiných zdrojů byla hodnocena veličina, která v lokalitě nejvýznamněji odráží úroveň znečištění ovzduší - PM_{10} a veličiny, které souvisí s vytvářením rozptylových podmínek (teplota, rychlost větru a relativní vlhkost).

V grafech na obrázcích č. 8 až 13 jsou porovnány průběhy koncentrací PM_{10} a vybraných meteorologických veličin zjištěných na stanovištích provozovaných v rámci projektu (Most VÚHU, Jezero Most, Kopisty, Jezero Milada) v období od 1. 1. 2018 do 31. 3. 2019 s dostupnými daty z okolních stanic provozovaných ČHMÚ (Most ČHMÚ, Lom ČHMÚ a Tušimice ČHMÚ) [4] a VÚHU a.s. (Mariánské Radčice, Lom). V grafech je uvedena i denní charakteristika rozptylových podmínek v regionu [7,8], které vyjadřují schopnost atmosféry přirozeně rozptylovat znečišťující látky. Pro účely předpovědi nebo hodnocení se uvádí v podobě tříd rozptylových podmínek (dále jako TRP). Jednotlivé TRP lze specifikovat:

TRP = 0 - po celý den dobré

TRP = 1 - část dne dobré a zároveň část dne mírně nepříznivé

TRP = 2 - po celý den mírně nepříznivé nebo nepříznivé

Z obrázků č. 8 - 13 je patrné, že průběhy kontinuálně měřených veličin na všech stanicích spolu převážně korespondují s nevýrazně rozdílnou úrovní. S průběhy koncentrací PM_{10} v okolí jezera Most koresponduje i relativně vzdálená stanice Tušimice ČHMÚ, která je položena na západním okraji Mostecké pánve. Prostorová variabilita výsledků mezi páry jednotlivých stanic byla charakterizována metodou koeficientů divergence. Koeficient divergence COD je definován jako:

$$COD_{jk} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{ij}}{x_{ij} + x_{ik}} - \frac{1}{2} \right)^2} \quad (1)$$

kde

x_{ij} je i-tá koncentrace měřená v místě j pro danou periodu vzorkování,

j a k jsou dvě různá místa,

n je počet pozorování.

Hodnoty koeficientu divergence se pohybují mezi 0 a 1. Pro danou dvojici jsou koncentrace na obou místech při hodnotě 0 stejné a při hodnotě 1 velmi odlišné. Nízká hodnota koeficientu divergence tedy naznačuje vysokou úroveň homogenity koncentrací mezi páry míst a vysoká hodnota nízkou úroveň homogenity. V případě koeficientu divergence při-bližně větším než 0,2 lze variabilitu považovat za heterogenní [9,10].

Na obrázku č. 14 je uvedeno porovnání koeficientů divergence dat ze stanice Tušimice ČHMÚ s ostatními stanicemi. Hodnoty koeficientů divergence se zde vyskytují v okolí hodnoty 0,2, což značí homogenitu nebo velmi mírnou nehomogenitu koncentrací na porovnávaných stanicích s koncentracemi na stanici Tušimice ČHMÚ.

Na obrázku č. 15 je uvedeno porovnání koeficientů divergence dat ze stanice jezero Most s ostatními stanicemi. Hodnoty koeficientů divergence na stanicích Most VÚHU a Kopisty se vyskytují na nebo pod hodnotou 0,2, což značí prostorovou homogenitu koncentrací na porovnávaných stanicích. Na zbývajících stanicích byly zjištěny koeficienty divergence nepatrně vyšší než 0,2, což značí mírnou heterogenitu koncentrací oproti koncentracím na stanici Jezero Most. Pravděpodobně se na těchto stanicích projevuje významněji vliv lokálních zdrojů oproti méně zatíženým stanicím Most VÚHU (umístění 20 m nad terénem) a Kopisty.

Zjištěné koeficienty divergence potvrzují vzájemnou korepondenci koncentrací mezi jednotlivými stanicemi patrnou již z obrázků č. 8 – 13.

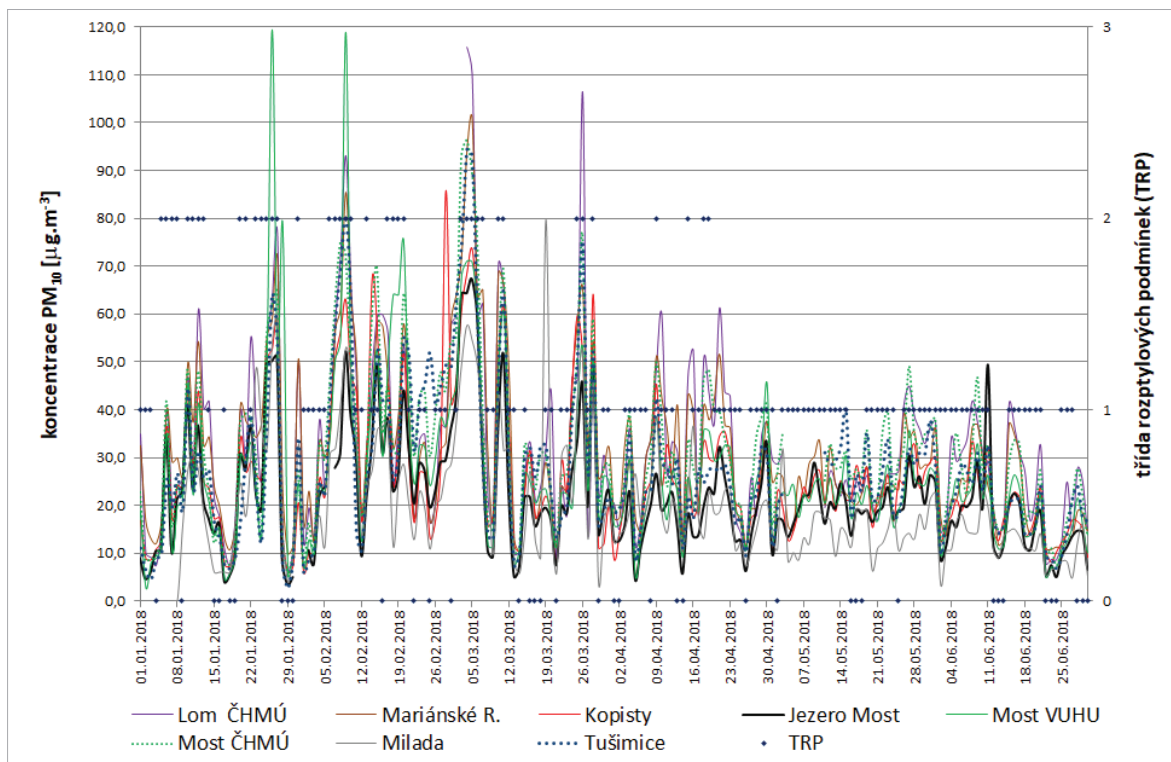
Další metodou hodnocení bylo provedeno porovnání průběhů vybraných veličin grafickou metodou součtových čar. Tato jednoduchá, ale názorná metoda je založena na (grafickém) porovnání postupných kumulativních součtů dvou nebo i několika synchronních časových řad stejné délky a se stejným časovým krokem. Jedna řada je považována za referenční a homogenní, pro další řady se detekují případné změny trendu. Ty mohou být způsobeny např. změnami v okolí stanice, přemístěním měřicí lokality, případně i změnou měřicí metody [11,12]. Metodou dvojité součtové čáry (double mass curve, DMC) lze přímo porovnávat výsledky testovaných stanic se stanicí referenční. Kumulativní součty pro referenční stanici se vynesou na osu X grafu, na osu Y se vynášejí kumulativní součty posuzované stanice. Pokud posuzovaná řada neobsahuje výraznou časovou změnu oproti referenční stanici, má DMC tvar přímky. Přímkový tvar má rovněž v případě, že časové změny v referenční i posuzované řadě probíhají synchronně. Časová změna v pozorované řadě se projeví zlomem (změna směrnice) v průběhu součtové čáry.

Na obrázku č. 16 je provedeno porovnání časových řad 24hodinových koncentrací aerosolových částic PM_{10} ze stanic Lom ČHMÚ, Most ČHMÚ, Most VÚHU, jezero Most, Kopisty a jezero Milada metodou dvojité součtové čáry (DMC) v období 1. 1. 2018 až 31. 3. 2019. Za referenční byla zvolena stanice Tušimice ČHMÚ, která je situována na západním

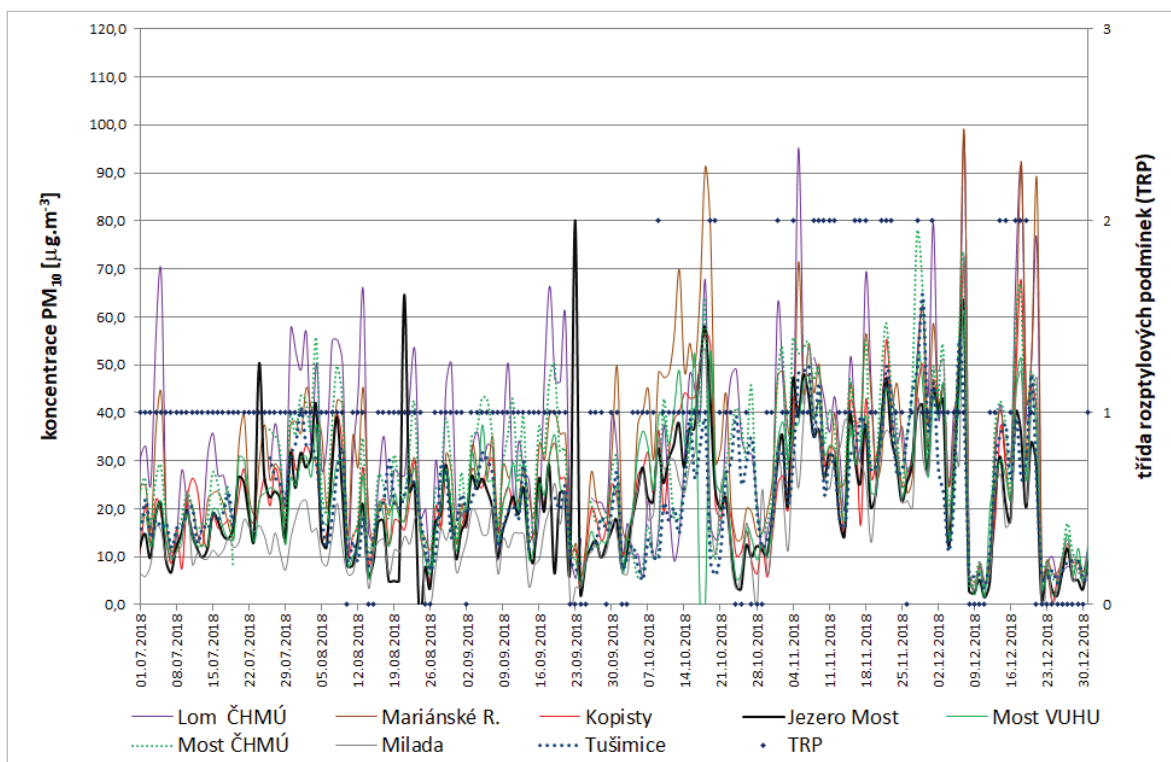
okraji Mostecké pánve (mimo její centrální část), v lokalitě podobné okolí jezera Most, tj. blízké úpatí Krušných hor, povrchový lom, elektrárny. Lze předpokládat, že výskyt koncentrací PM_{10} na stanici Tušimice přibližně představuje po-zadí Mostecké pánve.

Na základě vyhodnocení grafu na obrázku č. 16 lze předpokládat, že významněji vyšší než na referenční stanici Tušimice

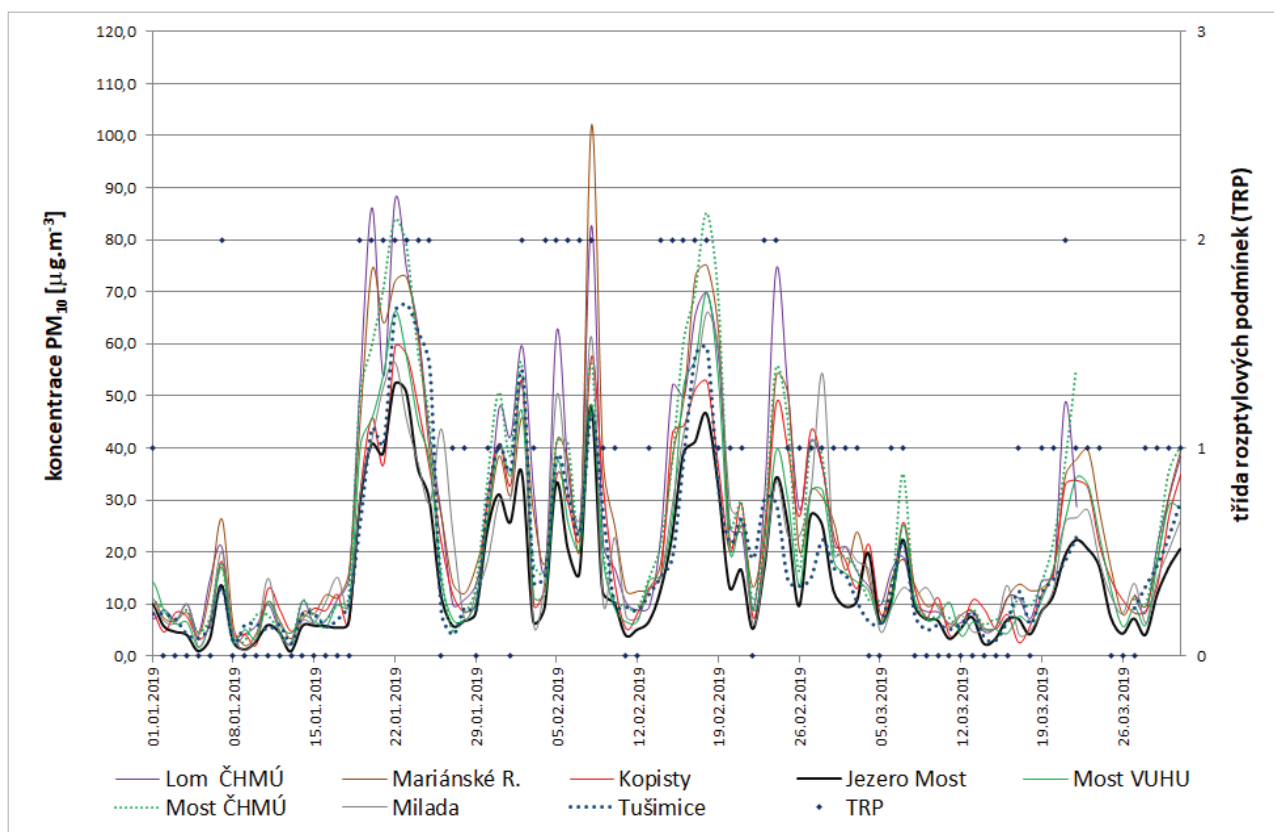
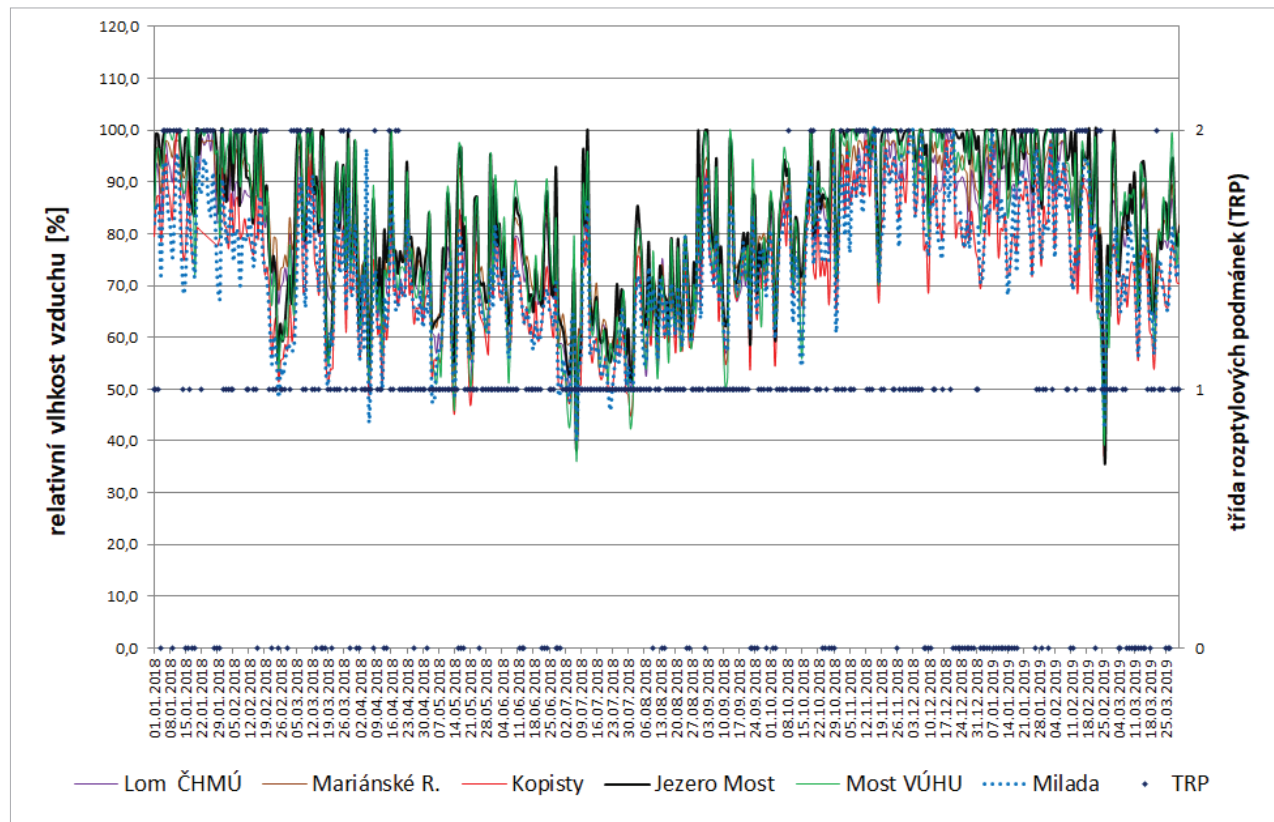
ČHMÚ je dlouhodobá úroveň koncentrace PM_{10} na stanicích Most ČHMÚ, Lom ČHMÚ a Mariánské Radčice VÚHU. Obdobná úroveň jako na referenční stanici byla zjištěna na stanici Most VÚHU a Kopisty VÚHU. Stanice Most VÚHU je sice umístěna v blízkosti stanice Most ČHMÚ, ale přibližně o 20 m výš. Lze předpokládat, že důvodem nižší úrovně koncentrace PM_{10} na stanici Most VÚHU oproti stanici Most



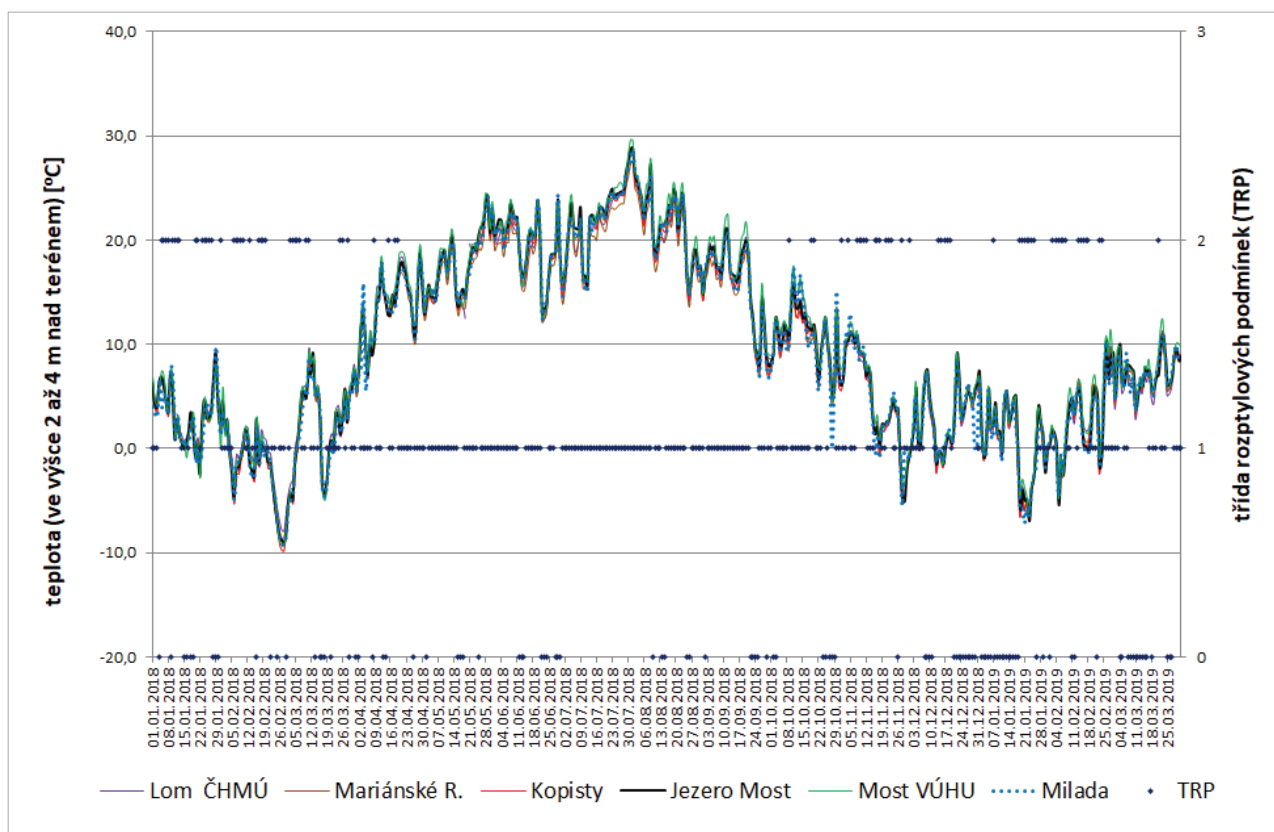
Obr. 8: Porovnání průběhů denních koncentrací PM_{10} v 1. pololetí roku 2018.



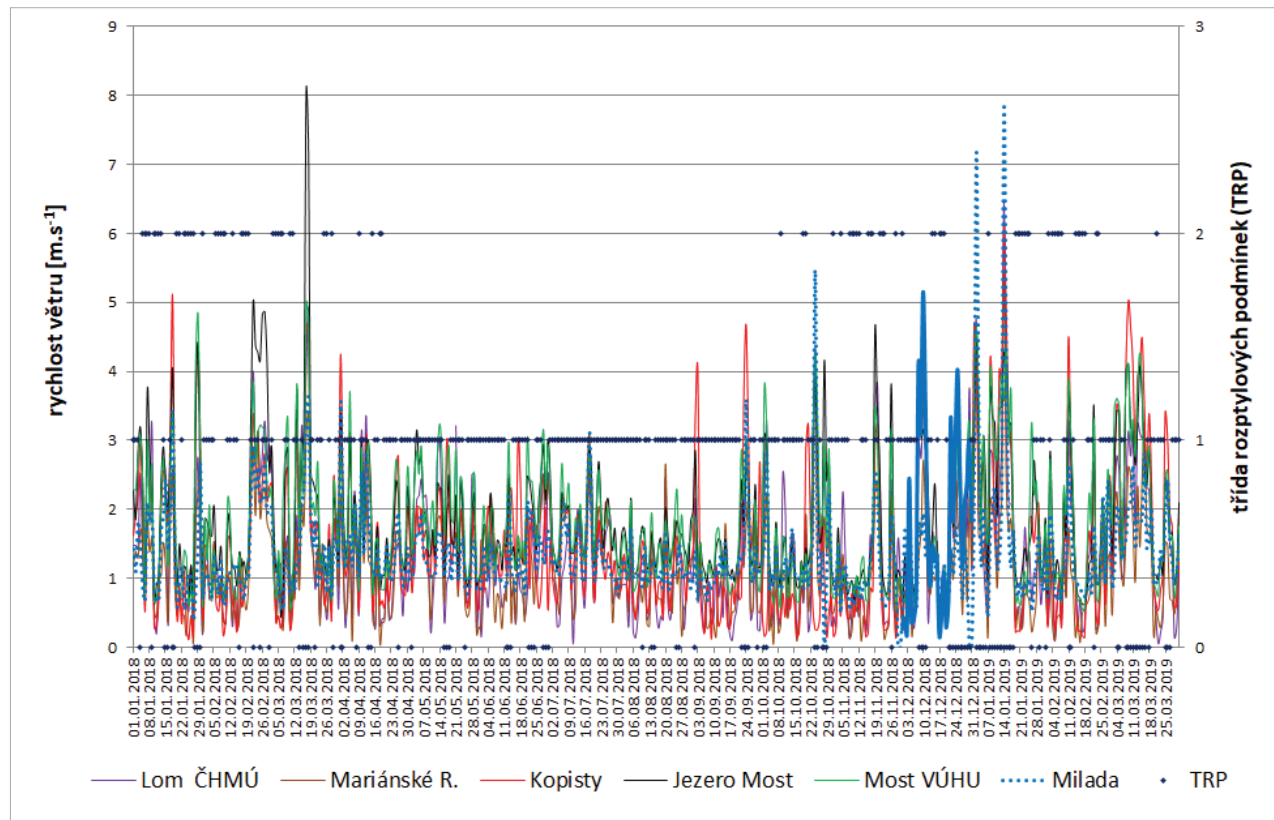
Obr. 9: Porovnání průběhů denních koncentrací PM_{10} v 2. pololetí roku 2018.

Obr. 10: Porovnání průběhů denních koncentrací PM_{10} v 1. čtvrtletí roku 2019.

Obr. 11: Porovnání průběhů denních průměrů relativní vlhkosti vzduchu v období 1.1.2018 až 31.3.2019.



Obr. 12: Porovnání průběhů denních průměrů teploty vzduchu v období 1.1.2018 až 31.3.2019.



Obr. 13: Porovnání průběhů denních průměrů rychlosti větru v období 1.1.2018 až 31.3.2019.

ČHMÚ je menší ovlivnění přízemními liniovými (dopravními) zdroji, zejména v době ranních přízemních inverzí.

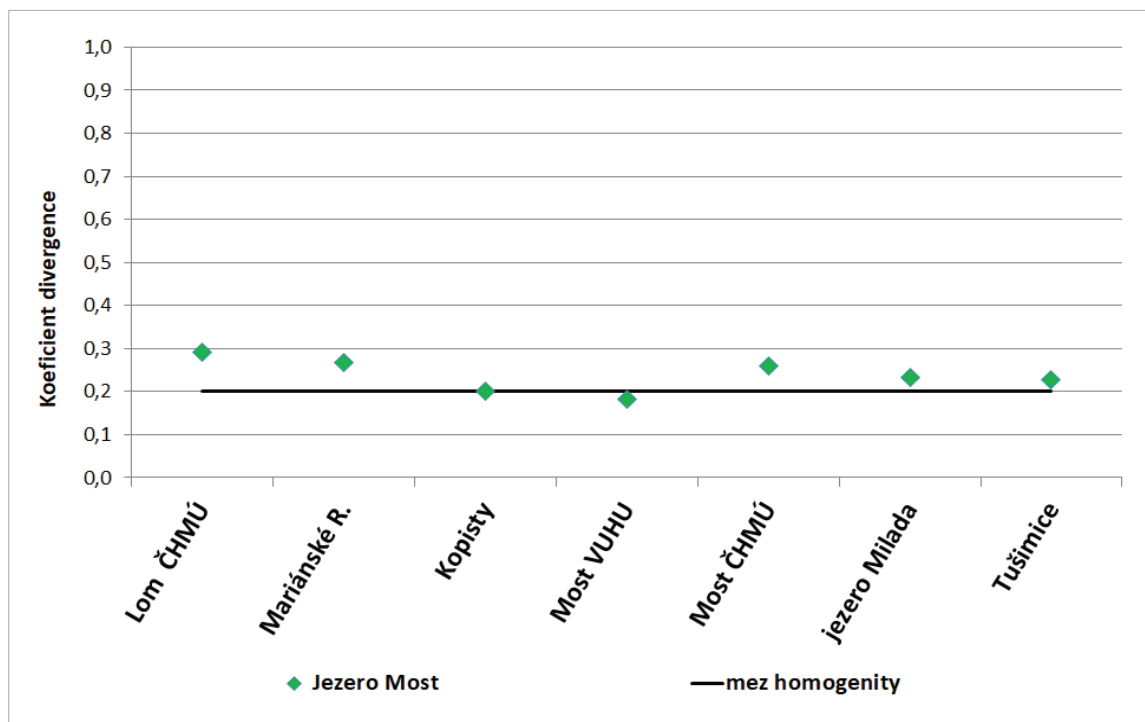
Obdobná úroveň znečištění je i na stanovišti Kopisty, které je méně ovlivněno městskými zdroji. Významně nižší je úroveň koncentrací PM_{10} v okolí jezera Most a jezera Milada.

Na obrázcích č. 17 - 19 jsou metodou dvojité součtové čáry (DMC) porovnány časové řady průměrných denních hodnot relativní vlhkosti vzduchu, teploty a rychlosti větru ze stanic Lom VÚHU, Most VÚHU, jezero Most, Kopisty a jezero

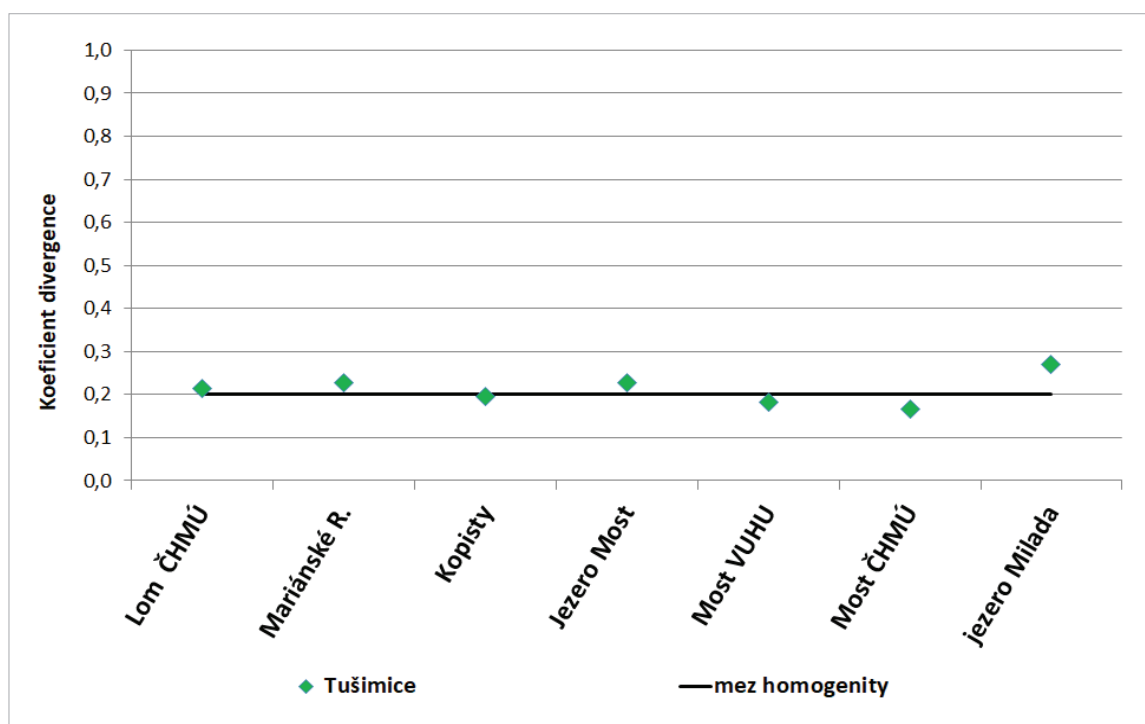
Milada v období od 1. 1. 2018 až 31. 3. 2019. Za referenční byla zvolena stanice Kopisty.

Z obrázku č. 17 je patrné, že úroveň teploty v okolí Jezera Most, případně i regionu, je pouze nevýznamně závislá na poloze v lokalitě. Z obrázku č. 18 je patrné, že úroveň relativní vlhkosti v okolí jezera Most, případně i regionu, není příliš závislá na poloze v lokalitě.

Z obrázku č. 19 je patrné, že úroveň rychlosti větru, která je významným faktorem ovlivňujícím rozptyl znečišťujících



Obr. 14: Porovnání koeficientů divergence dat ze stanice Tušimice ČHMÚ s ostatními stanicemi.



Obr. 15: Porovnání koeficientů divergence dat ze stanice jezero Most s ostatními stanicemi.

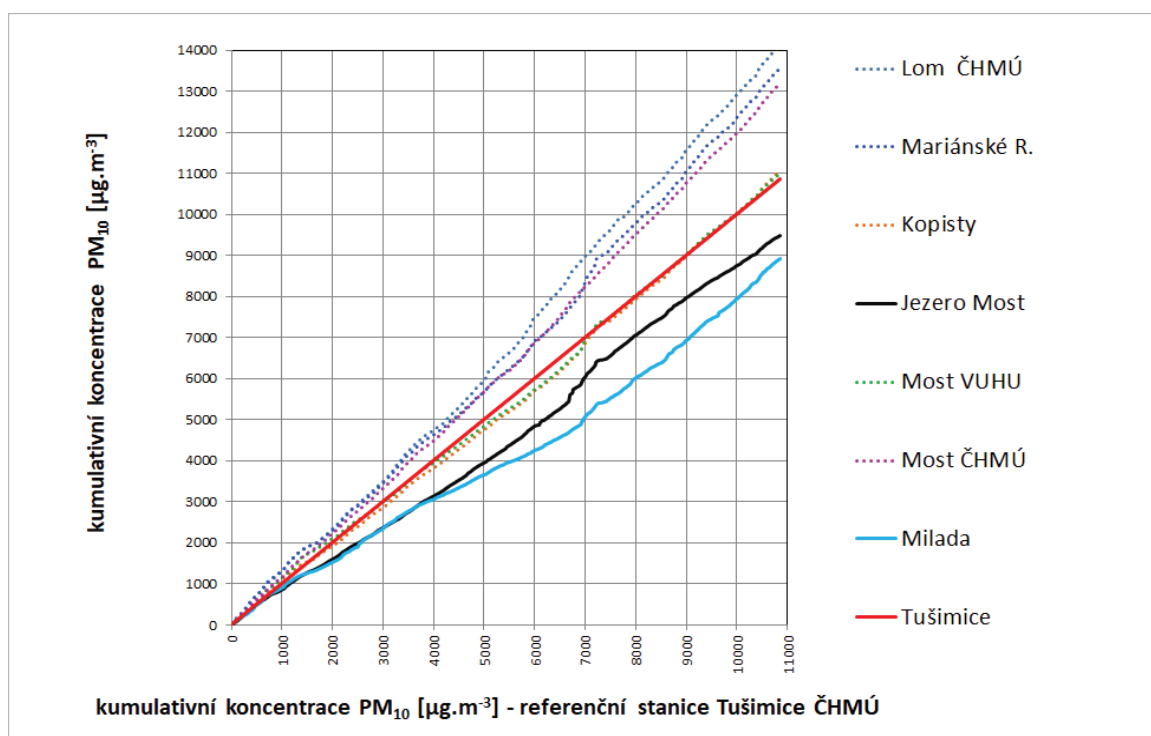
látek, byla z hodnocených stanic nejvyšší na jezeře Most a na střeše VÚHU a.s.

4 Vyhodnocení výsledků a jejich porovnání s výsledky projektu č. TA01020592 (2011-2014)

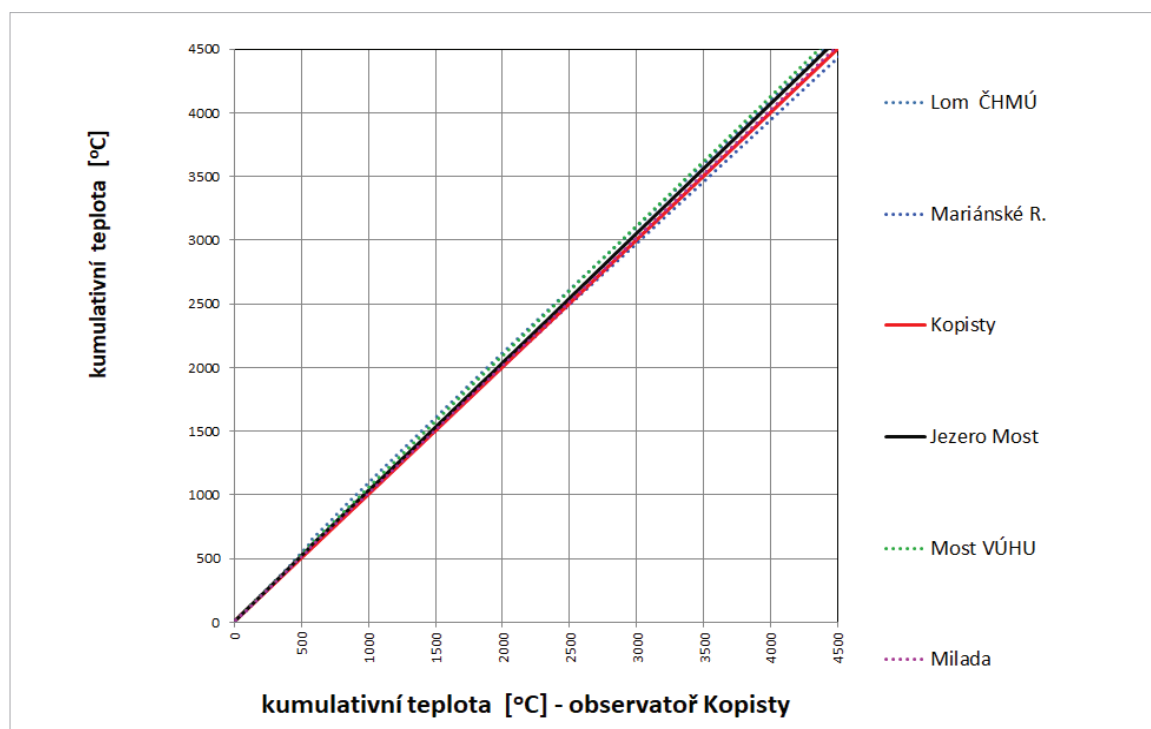
Sezónní chody vybraných veličin jsou patrné z obrázku č. 10 až 15 [4,7]. Sezónní znečištění úzce souvisí s různým výskytem zhoršených rozptylových podmínek v jednotlivých obdobích

roku. Na obrázku č. 20 je porovnán výskyt tříd rozptylových podmínek v jednotlivých čtvrtletích obdobích od 1. 1. 2018 až 31. 3. 2019.

Na obrázcích č. 21 až 24 je porovnán výskyt tříd rozptylových podmínek a počet překročení imisního limitu na stanici Most ČHMÚ po jednotlivých čtvrtletích let 2008-2014 a 2018, v případě 1. čtvrtletí i 2019.



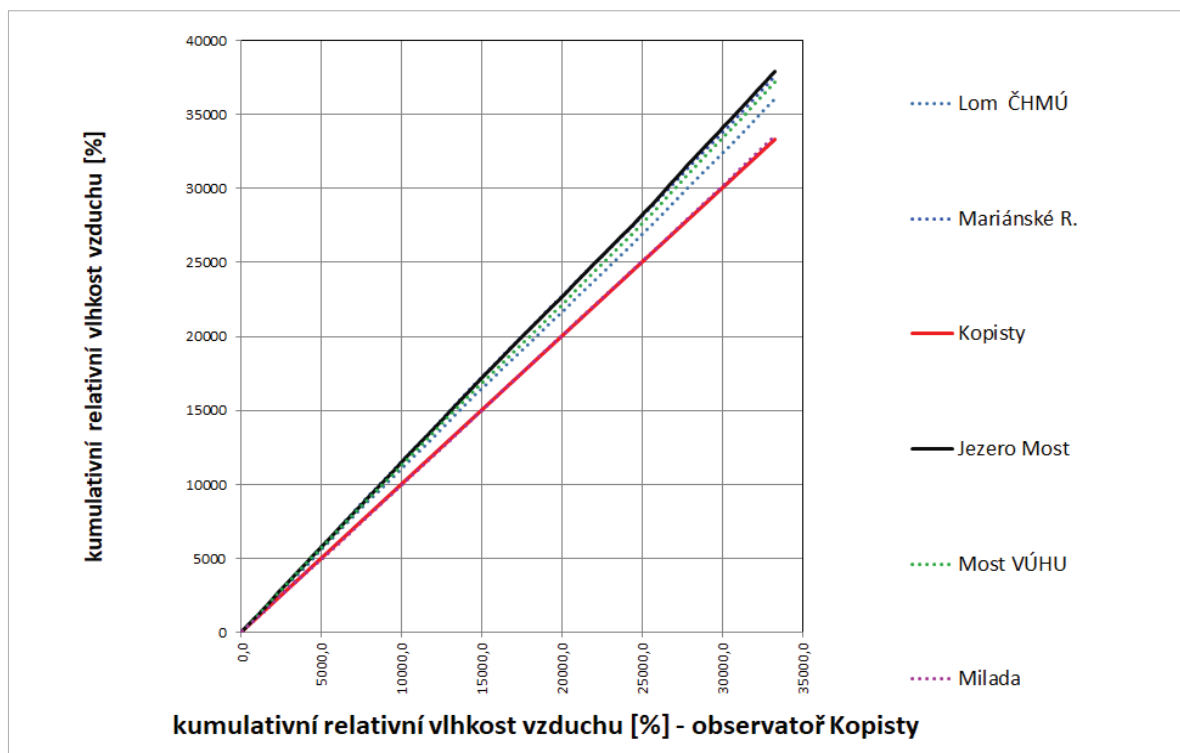
Obr. 16: Porovnání časových řad 24hodinových koncentrací aerosolových částic PM_{10} metodou dvojité součtové čáry (DMC) v období 1.1.2018 až 31.3.2019.



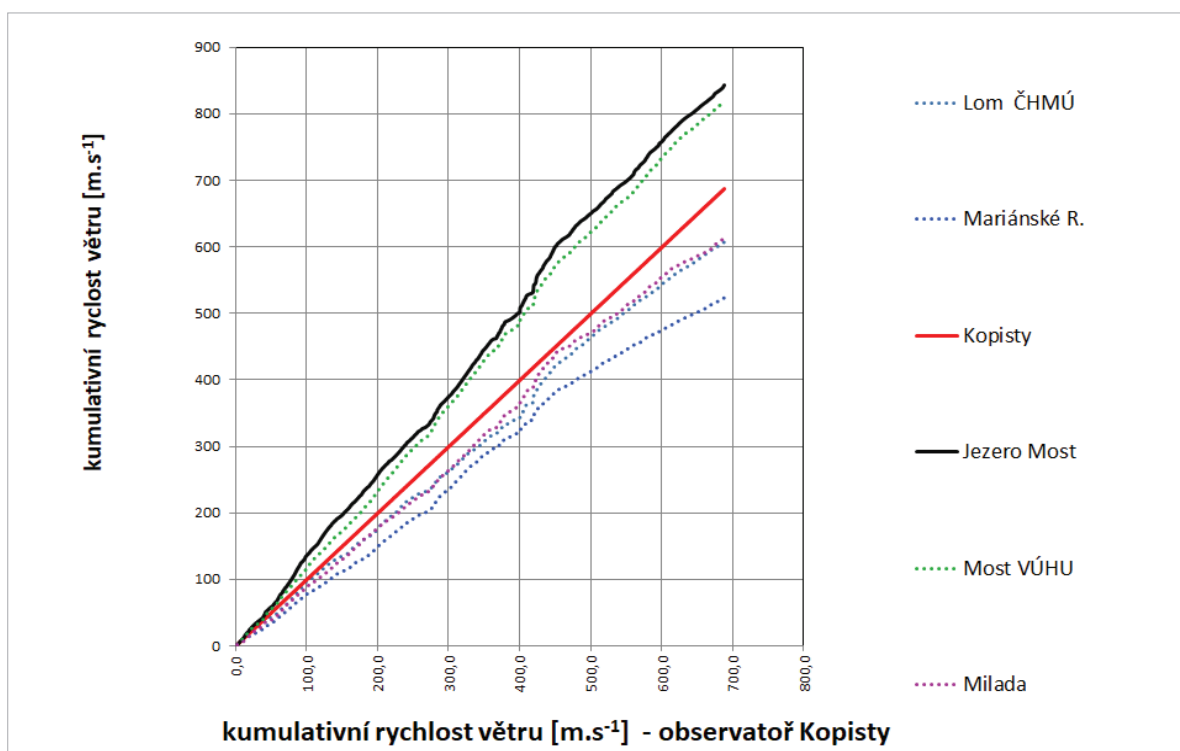
Obr. 17: Porovnání časových řad průměrných denních hodnot teploty.

Z obrázku č. 21 až 24 je patrná poměrně velká variabilita výskytu rozptylových podmínek v jednotlivých čtvrtletích hodnocených let. V 1. a 4. čtvrtletí (přibližně podzim a zima), kdy se zkracují dny (kratší doba osvitů zemského povrchu slunečním zářením), dochází k výraznému nárůstu výskytu nepříznivých rozptylových podmínek trvajících celý den nebo i několik dní za sebou. To je pak příčinou kumulace škodlivin

v přízemní vrstvě atmosféry. Důsledkem kumulace je výskyt vyšších koncentrací, v tomto případě aerosolových částic PM_{10} , který se projevuje zvýšeným počtem překročení 24hodinového imisního limitu. Počet překročení tohoto limitu v tomto období téměř koreluje s výskytem nepříznivých rozptylových podmínek trvajících po celý den.



Obr. 18: Porovnání časových řad průměrných denních hodnot relativní vlhkosti vzduchu.



Obr. 19: Porovnání časových řad průměrných denních hodnot rychlosti větru.

Ve 2. a zejména ve 3. čtvrtletí (jaro a léto), kdy se prodlužuje doba osvitů zemského povrchu slunečním zářením, je výskyt nepříznivých rozptylových podmínek trvajících celý den výrazně omezen a zvyšuje se počet dní, kdy nepříznivé rozptylové podmínky trvají pouze po část dne, obvykle v nočních a ranních hodinách. Po osvit slunečním zářením vzrůstá teplota zemského povrchu, od kterého se ohřívá přízemní vrstva vzduchu. Tím se snižuje hustota vzduchu, který pak stoupá vzhůru. Vzniklé proudění vynáší a rozptyluje škodliviny do vyšších vrstev atmosféry.

Na obrázcích č. 25 až 28 jsou formou sloupcových grafů porovnány sezónní směrnice DMC koncentrací PM_{10} ze stanic Lom ČHMÚ (2008 – 2014, 2018 a 2019), Most ČHMÚ (2008 – 2014, 2018 a 2019), Kopisty (2012 – 2014, 2018 a 2019) a jezera Most (2018 a 2019). Porovnání je provedeno pro jednotlivá čtvrtletí uvedených let.

Z obrázků č. 25 až 28 je zřejmé, že směrnice DMC ze stanice jezera Most, která představuje relativní úroveň znečištění aerosolovými částicemi PM_{10} v daném čtvrtletí oproti úrovni na okolních stanicích, je ve všech hodnocených čtvrtletích let 2018 a 2019 převážně nižší než na ostatních okolních stanicích.

5 Vliv jezera na okolí

Teoreticky může být vodní plocha přirozeným zdrojem aerosolových částic, jejichž složení odpovídá přibližně skladbě látek obsažených ve zdrojové vodě. Mechanismus vzniku aerosolu je založen na experimentálně prokázaných procesech probíhajících na hladině při praskání bublinek vzduchu stoupajících vodou. Při prasknutí povrchové bubliny jsou do atmosféry vymrštěny mikroskopické kapičky, které jsou za vhodných okolností zachyceny větrem, odpařeny a dále transportovány jako pevné aerosolové částice. V reálných podmínkách může být tento aerosol ve významnějším množství generován pouze na velkých vodních plochách (moře a oceány). Významným zdrojem tohoto aerosolu jsou příbojové linie lemuující pevninu [13]. Vzhledem k relativně malým rozměrům jezera Most lze tuto vodní plochu považovat za zanedbatelný zdroj atmosférického aerosolu.

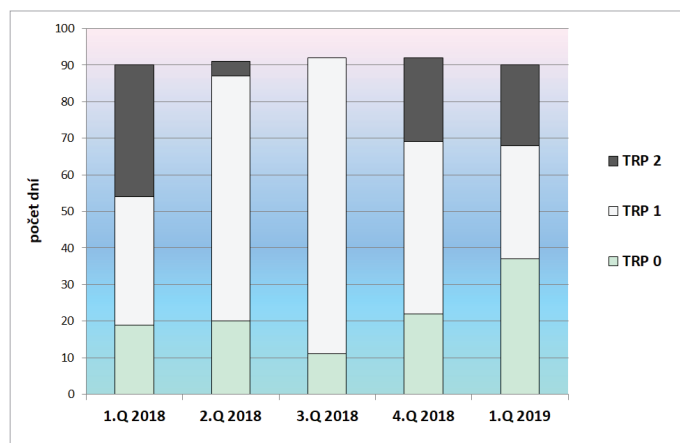
Vznik nové vodní nádrže může ovlivňovat okolí změnou mikroklimatických podmínek v přízemní vrstvě, které mohou přispívat ke vzniku mlhy. Jedná se především o změnu toků teploty, vlhkosti a o rozdíl teploty půdy (břehů) a vody.

Důsledkem poklesu teploty vzduchu při vyšší vlhkosti může v některých případech být vznik mlhy. Obecně vzniká mlha tím, že dochází k přesycení vodní páry, které může nastat ochlazením, zvýšením vlhkosti nebo promícháním vzduchových hmot o různé teplotě v blízkosti zemského povrchu. Otázkou je, zda kapacita prostoru jezera a jeho blízkého okolí stačí na to, aby se mlha šířila dál do vzdálenějšího okolí. V některých případech může docházet i k synergickému vlivu jezera Most a proudění studeného vzduchu z Krušných hor.

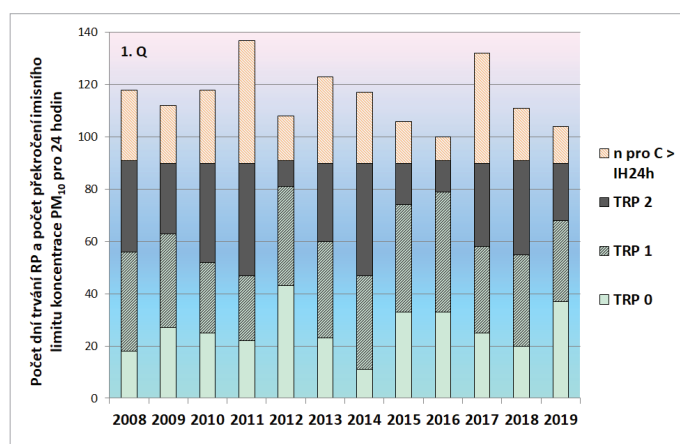
Modelovým šetřením, které bylo provedeno Ústavem fyziky atmosféry AV ČR v rámci řešení projektu č. TA01020592, bylo zjištěno, že při rozdílu teplot mezi povrchovou vodní vrstvou jezera a vzduchem větším než 3 °C může v letním období docházet k ochlazení okolního vzduchu v přízemní vrstvě až o 2 °C a v zimním období až o 1 °C [14,15]. Průměrný roční vliv

vodní plochy na teplotu, řádově v setinách až desetinách stupně Celsia ve výškové hladině do 12 m, má na jižním okraji jezera Most dosah cca 500 m [14], tj. před severní okraj komunální zástavby měst.

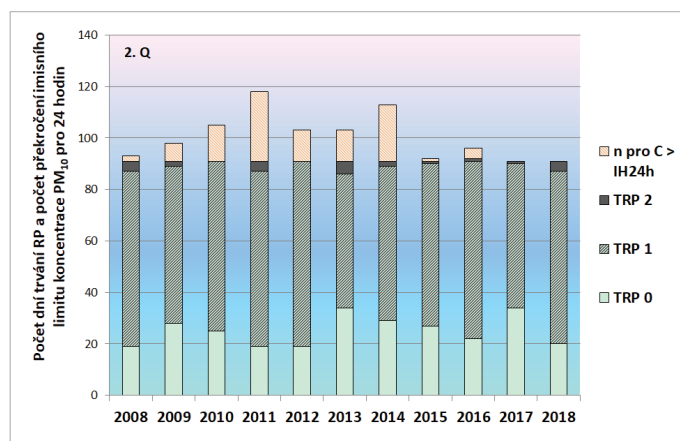
Jak již bylo uvedeno v úvodu, jezero Most je položeno ve špatně provětrávané centrální části Mostecké pánve. V lokalitě



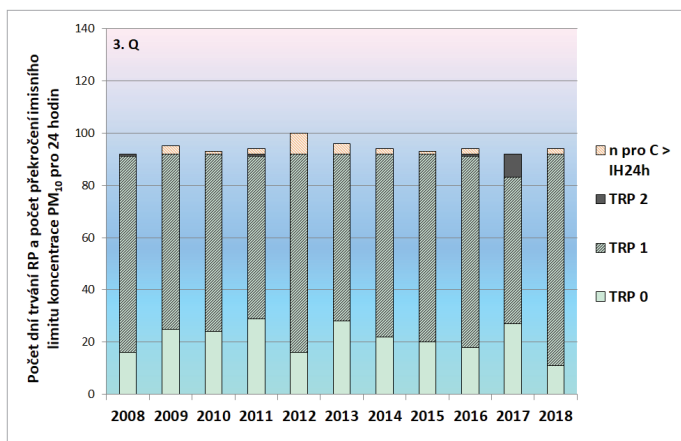
Obr. 20: Porovnání výskytu tříd rozptylových podmínek v jednotlivých čtvrtletích období 1.1.2018 až 31.3.2019.



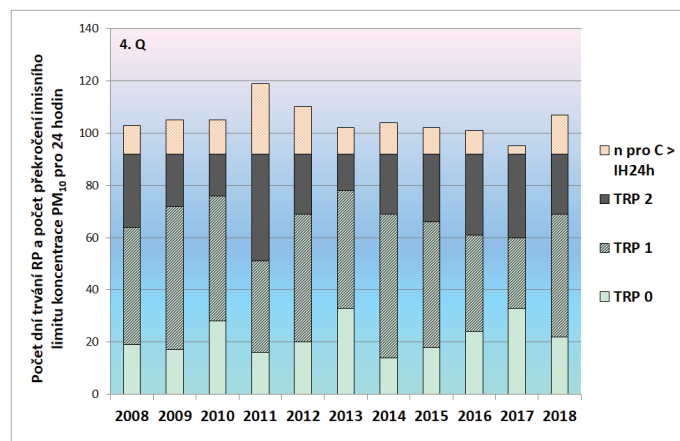
Obr. 21: Porovnání výskytu tříd rozptylových podmínek a počtu překročení imisního limitu na stanici Most ČHMÚ v 1. čtvrtletí let 2008 – 2014, 2018 a 2019.



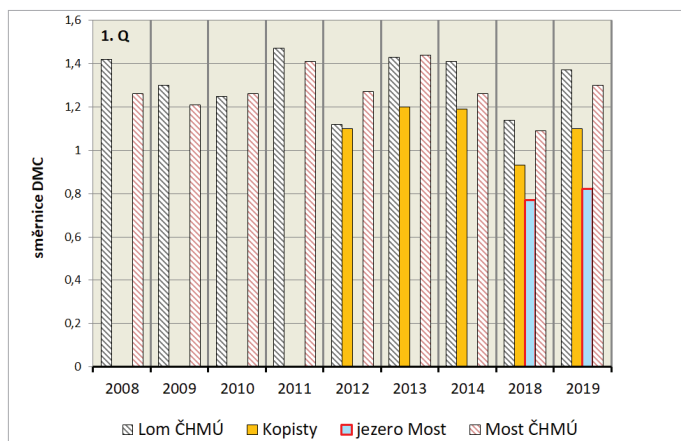
Obr. 22: Porovnání výskytu tříd rozptylových podmínek a počtu překročení imisního limitu na stanici Most ČHMÚ ve 2. čtvrtletí let 2008 – 2014 a 2018.



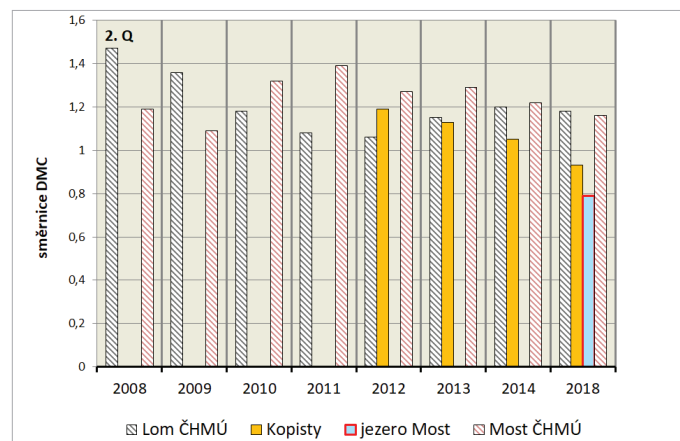
Obr. 23: Porovnání výskytu tříd rozptylových podmínek a počtu překročení imisního limitu na stanici Most ČHMÚ ve 3. čtvrtletí let 2008 – 2014 a 2018.



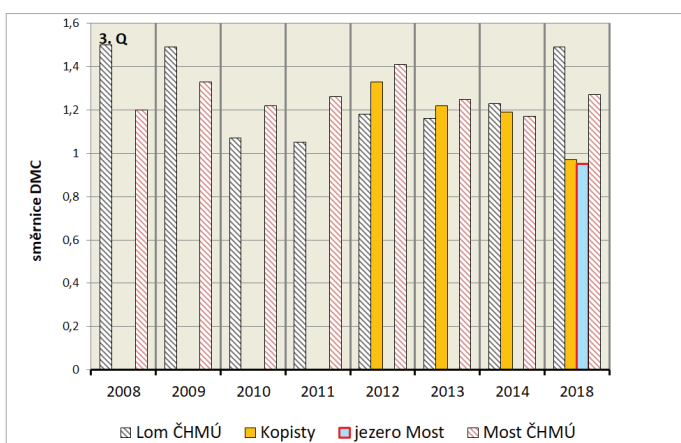
Obr. 24: Porovnání výskytu tříd rozptylových podmínek a počtu překročení imisního limitu na stanici Most ČHMÚ ve 4. čtvrtletí let 2008 – 2014 a 2018.



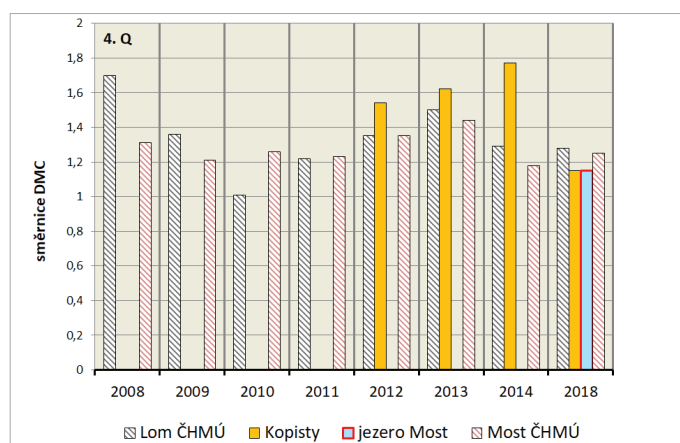
Obr. 25: Porovnání sezónních směrnic DMC koncentrací PM_{10} z vybraných stanic centrální pánve z 1. čtvrtletí (zima) let 2008 – 2014, 2018 a 2019.



Obr. 26: Porovnání sezónních směrnic DMC koncentrací PM_{10} z vybraných stanic centrální pánve z 2. čtvrtletí (jaro) let 2008 – 2014 a 2018.



Obr. 27: Porovnání sezónních směrnic DMC koncentrací PM_{10} z vybraných stanic centrální pánve z 3. čtvrtletí (léto) let 2008 – 2014 a 2018.

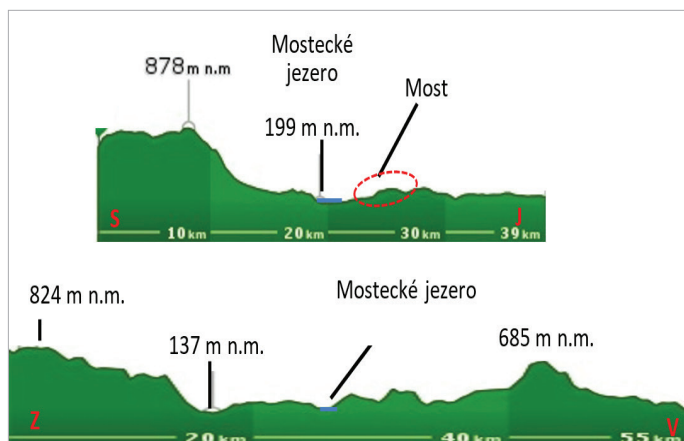


Obr. 28: Porovnání sezónních směrnic DMC koncentrací PM_{10} z vybraných stanic centrální pánve ze 4. čtvrtletí (podzim) let 2008 – 2014 a 2018.

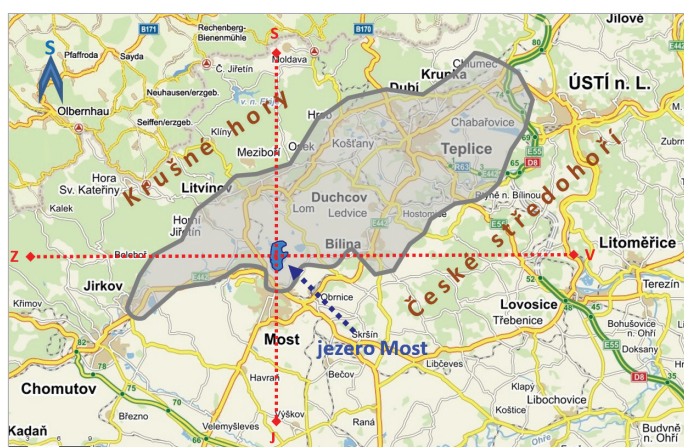
nepůsobí jezero Most z hlediska vlivu na rozptylové podmínky izolovaně, ale shodně jako okolní prostor je ovlivňováno dalšími činiteli. Nejvýznamněji v lokalitě působí masiv Krušných hor, který ohraničuje Mosteckou pánev ze severozápadu. Na obrázcích č. 29a a 29b jsou zobrazeny profily pánve v osách S-J

a Z-V, které jsou vyznačeny na obrázku č. 30 společně s prostorem nedokonalého provětrávání (šedá plocha). [6,16]

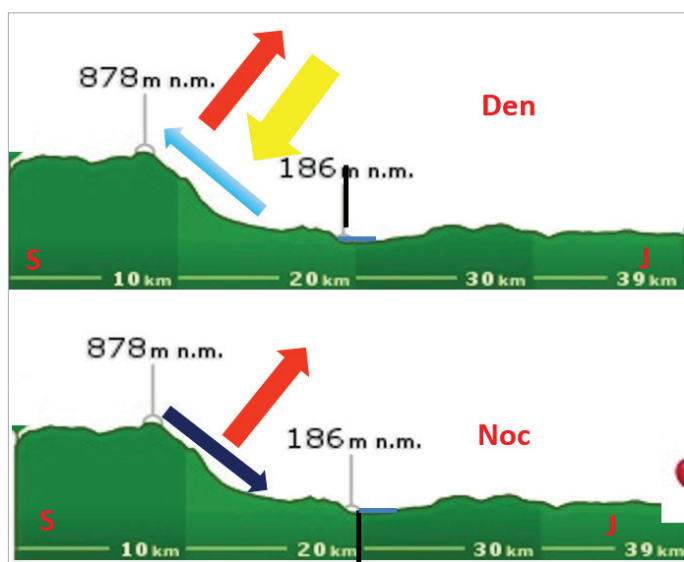
Mechanismus vlivu Krušných hor lze popsat následovně. Při bezvětří nebo nízké rychlosti větru po východu slunce



Obr. 29a,b: Profil řezu S-J, profil řezu Z-V. [6]



Obr. 30: Vyznačení řezů S-J a Z-V procházejících jezerem Most. [6,16]



Obr. 31: Mechanismus vlivu Krušných hor na proudění v mostecké pánvi. [6]

ohřívají slunečním zářením vyhřáté jižní svahy Krušných hor vzduch. Teplý lehčí vzduch stoupá po svazích vzhůru, čímž vzniká proudění z jihovýchodního kvadrantu. Toto proudění rozptyluje škodliviny kumulované v Mostecké pánvi. V noci se Krušné hory ochlazují v důsledku zpětného dlouhovělného

vyzařování. Od chladného povrchu Krušných hor se ochlazuje vzduch. Chladný těžší vzduch stéká po strmých svazích Krušných hor na dno pánve, kde vzniká přízemní inverzní vrstva, jejíž obvyklou výšku lze odhadnout na 20-40 m nad povrchem (viz obrázek č. 31, žlutá šipka – sluneční záření, červená šipka – zpětné vyzařování, světle modrá šipka – lehčí vzduch, tmavě modrá šipka – těžší vzduch). V této vrstvě se až do dalšího východu slunce kumulují škodliviny z přízemních zdrojů. Při ochlazení vzduchu dochází často k přesycení vodní párou a tím ke vzniku mlhy. Podrobněji jsou charakteristické scénáře rozptylových podmínek v centrální části Mostecké pánve popsány v článku [17].

6 Závěr

Rekultivace je souhrn zásahů, kterými se zahlazují nežádoucí antropogenní zásahy do krajiny. Nejčastěji je předmětem rekultivace území postižené těžbou nerostných surovin (zbytkové jámy po povrchové těžbě uhlí, výsypky, vytěžené pískovny, kamenolomy apod.). Výsledkem rekultivace může být přeměna vytěžených ploch na pole a lesy, vybudování rekreačního zázemí městských aglomerací nebo záměrný vznik „nové divočiny“ [18].

Ve srovnání s předcházejícím stavem, tj. s bezprostřední situací po ukončení těžby, nelze přínos rekultivace po dokončení hodnotit jinak než pozitivně. Rekultivací se významně změnil charakter krajinného pokryvu ze suché plochy bez vegetace, který lze přirovnat k poušti, na vegetaci pokrytou plochu nebo vodní hladinu. Tato změna charakteru povrchu lokality přináší v důsledku změny distribuce slunečního záření i změnu mikroklimatu rekultivovaného prostoru.

Cílem „Studie dopadu hydrické rekultivace povrchových lomů na kvalitu ovzduší a mikroklima na území Ústeckého kraje“, která navazovala na výsledky projektu „Dopady na mikroklima, kvalitu ovzduší, ekosystémy vody a půdy v rámci hydrické rekultivace hnědouhelných lomů“, bylo posoudit, zda změna mikroklimatu nad rekultivovaným prostorem nebude pro okolí znamenat nepříznivou změnu kvality ovzduší. Při hodnocení kvality ovzduší byla pozornost zaměřena na výskyt atmosférického aerosolu frakce PM_{10} , který je nejvýznamnější znečišťující látkou v Mostecké pánvi.

Na velkých vodních plochách, např. moře nebo oceán, může při silnějším větru docházet ke vzniku aerosolu vysoušením kapiček vody vzniklých při tříštění vln, zejména v břehové linii. Vzhledem k relativně malé ploše lze jezero Most považovat pouze za zanedbatelný zdroj aerosolových částic PM_{10} . Na základě provedeného měření bylo zjištěno, že úroveň koncentrace aerosolových částic PM_{10} na okraji jezera Most byla oproti okolním měřicím stanicím významně nižší. Koncentrace vzdušného aerosolu frakce PM_{10} byla v celém posuzovaném prostoru závislá především na rozptylových podmínkách, tj. na době trvání zhoršených rozptylových podmínek při inverzním zvrstvení atmosféry.

V přízemní vrstvě atmosféry má významný vliv na rozptylové podmínky v lokalitě proudění studeného vzduchu z masivu Krušných hor v pozdních nočních a ranních hodinách i radiační ochlazování povrchu dna Mostecké pánve. Tímto způsobem vznikají poměrně časté přízemní inverze. Po vy-

tvoření přízemní stabilní vrstvy dochází zde ke kumulaci znečišťujících látek převážně z přízemních zdrojů, tj. zdrojů, které se nacházejí ve stabilní vrstvě (liniové zdroje, domácí topeniště apod.). Znečištění může přinášet do Mostu i proudění studeného vzduchu z Krušných hor. Na základě porovnání rozměru masivu Krušných hor a relativně menší velikosti jezera Most nelze předpokládat, že by nová vodní plocha výrazně ovlivňovala podmínky pro vznik významného znečištění ovzduší. Jezerní plocha nemůže ani ovlivnit dobu trvání výškových inverzí v prostoru celého regionu, ke kterým dochází převážně v zimě a na podzim. Při těchto stavech, které mohou trvat i několik dní, se na znečištění výrazně podílejí i významné energetické a průmyslové zdroje.

Vzhledem k obdobnému krajinnému rázu a k obdobně relativně nízké úrovni znečištění zjištěné na stanici jezera Milada, stejně jako na stanici jezero Most, lze předpokládat, že výše uvedený závěr lze aplikovat i na tuto vodní nádrž.

Literatura

- [1] KRUŽÍKOVÁ, L.: Vývoj napouštění jezera Most, sborník konference Jezera a mokřady ve zbytkových jamách po těžbě nerostů, Most, 04/2013, str. 89 – 63, ISBN 978-80-260 -4172-6.
- [2] <https://www.pku.cz/jezera/>
- [3] ŠAFÁŘOVÁ, M. a kol: Metodika: Dopady na mikroklima, kvalitu ovzduší, ekosystémy vody a půdy v rámci hydrologické rekultivace hnědouhelných lomů, Projekt č. TA01020592.
- [4] http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/tab_roc_CZ.html
- [5] http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/14groc/gr14cz/IV1_PM_CZ.html
- [6] <http://www.mapy.cz/>
- [7] <http://www.chmuul.org/?page=rozptylove-podminky>
- [8] <http://portal.chmi.cz/predpovedi/predpovedi-pocasi/ceska-republika/meteorologicka-terminologie>
- [9] KRUDYSZ, M.A., FROINES, J.R., MOORE, K. F., GELLER, M.D., SIOUTAS, C.: Intra-Community Spatial Variability in Particle Size Distributions in the Los Angeles Harbor-Area. Atmos. Chem. Phys., 9: 1–15, 2009.
- [10] WILSON, J.G., ZAWAR-REZA, P.: Intraurban-Scale Dispersion Modeling of Particulate Matter Concentrations: Applications for Exposure Estimates in Cohort Studies. Atmos. Environ., 40: 1053–1063, 2006.
- [11] TEIXEIRA, J.L.: Statistical analysis of weather data sets 1. <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e01.htm> (listopad 2014).
- [12] CRASLAW, D.: The openaur manual open-source tools for analysing air pollution data, King's College London, version: 10th June 2014.
- [13] BRANIŠ, M., HŮNOVÁ, I., (eds.): Atmosféra a klima. Aktuální otázky ochrany ovzduší. Praha, 2009, Karolinum. ISBN: 978-80-246-1598-1.
- [14] BARTŮŇKOVÁ, K., SOKOL, Z.: Vliv nově vzniklé jezerní plochy na mikroklima, Vodní hospodářství, 4/2013, str. 106 – 110, ISSN 1211-0760.
- [15] BARTŮŇKOVÁ, K., POP, L., SOKOL, Z.: Vliv nově vzniklé plochy na vlhkost vzduchu. Meteorologické zprávy, 70-2017-4, str. 114-119, ISSN 0026-1173.
- [16] <http://www.ufa.cas.cz/vetrna-energie/vetrna-mapa/>
- [17] BREJCHA, J.: Vývoj rozptylových podmínek v Mostecké pánvi v období 1997 až 2018, Zpravodaj Hnědé uhlí, 4/2019, ISSN 1213–1660.
- [18] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Rekultivace>