

Změny klimatu v širší oblasti Mostecké pánve a jejich dopady na hornictví a rekultivace se zaměřením na vývoj koncentrací imisí v ovzduší

RNDr. Michal Řehoř, Ph.D.¹, Ing. Pavel Schmidt¹, Ing. František Helebrant, CSc.²

¹Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most; rehor@vuhu.cz

²Vysoká škola báňská - TU Ostrava

Přijato: 31. 7. 2021, recenzováno: 10. a 16. 8. 2021

Abstrakt

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s. (VÚHU a.s.) se již třetím rokem spolu s vědeckými týmy několika evropských zemí podílí v rámci výzkumného programu EU na řešení projektu TEXMIN - „The impact of EXtreme weather events on MINing operations“, který se zabývá dopady klimatické změny na těžební oblasti jednotlivých zemí. Tento příspěvek zahrnuje výsledky dosažené VÚHU a.s. Je zde shrnut dlouhodobý vývoj klimatu v Čechách a Evropě, vývoj klimatu oblasti Mostecké pánve a první výsledky řešení vlivu klimatické změny na rekultivace. Hlavní pozornost je v článku věnována dosud nepublikovanému vývoji koncentrací imisí v ovzduší těžebního regionu severozápadních Čech.

Climate change in the wider area of the Most Basin and its impacts on mining and reclamation with a focus on the development of air pollution concentrations

For the third year, the Brown Coal Research Institute (VUHU), together with scientific teams from several European countries, has been involved in the research programme EU project TEXMIN - „The impact of EXtreme weather events on MINing operations“, which deals with the impacts of climate change on the mining areas of individual countries. This paper summarises the first results achieved by the ACA. It summarizes the longterm climate development in the Czech Republic and in Europe, the climate development of the Most Basin region and the first results of addressing the impact of climate change on reclamation. The main attention in the article is devoted to the as yet unpublished development of concentrations of air pollutants in the atmosphere of the mining region of north-west Bohemia.

Klimawandel auf dem breiteren Gebiet des Moster Beckens und die Auswirkung auf den Bergbau und die Wiedernutzbarmachung mit der Orientierung auf die Entwicklung der Immissionskonzentrationen in der Luft

Das Braunkohlenforschungsinstitut AG (VÚHU a.s.) nimmt bereits das dritte Jahr gemeinsam mit den wissenschaftlichen Teams einigen europäischen Ländern im Rahmen eines Forschungsprogramms an der Lösung des Projektes TEXMIN „The impact of EXtreme weather events on MINing operations“ teil, das sich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf Bergbaugebiete der einzelnen Länder beschäftigt. Dieser Beitrag schließt in sich die von VÚHU a. s. erreichten Ergebnisse. Hier wird eine langfristige Entwicklung des Klimas in Böhmen und Mähren, Klimaentwicklung auf dem Gebiet des Moster Beckens sowie die ersten Ergebnisse der Lösung der Klimawandelauswirkung auf die Rekultivierungen zusammengefasst. Die Hauptaufmerksamkeit ist im Artikel der bisher unveröffentlichten Entwicklung der Immissionskonzentrationen in der Luft der Bergbauregion Nordwestböhmen gewidmet.

Klíčová slova: klima, vývoj, rekultivace, imise.

Keywords: climate, development, reclamation, air pollutants.

1 Úvod

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s. (VÚHU a.s.) se již třetím rokem podílí na řešení výzkumného projektu s názvem „The impact of EXtreme weather events on MINing operations“, spolufinancovaného z Výzkumného fondu pro uhlí a ocel EU. Projekt je zaměřen na hodnocení dopadu klimatických změn na hornickou činnost ve významných evropských uhelných pánvích. Dalšími účastníky jsou vědecké týmy z Polska (hlavní řešitel projektu), Velké Británie, Španělska, Řecka a SRN.

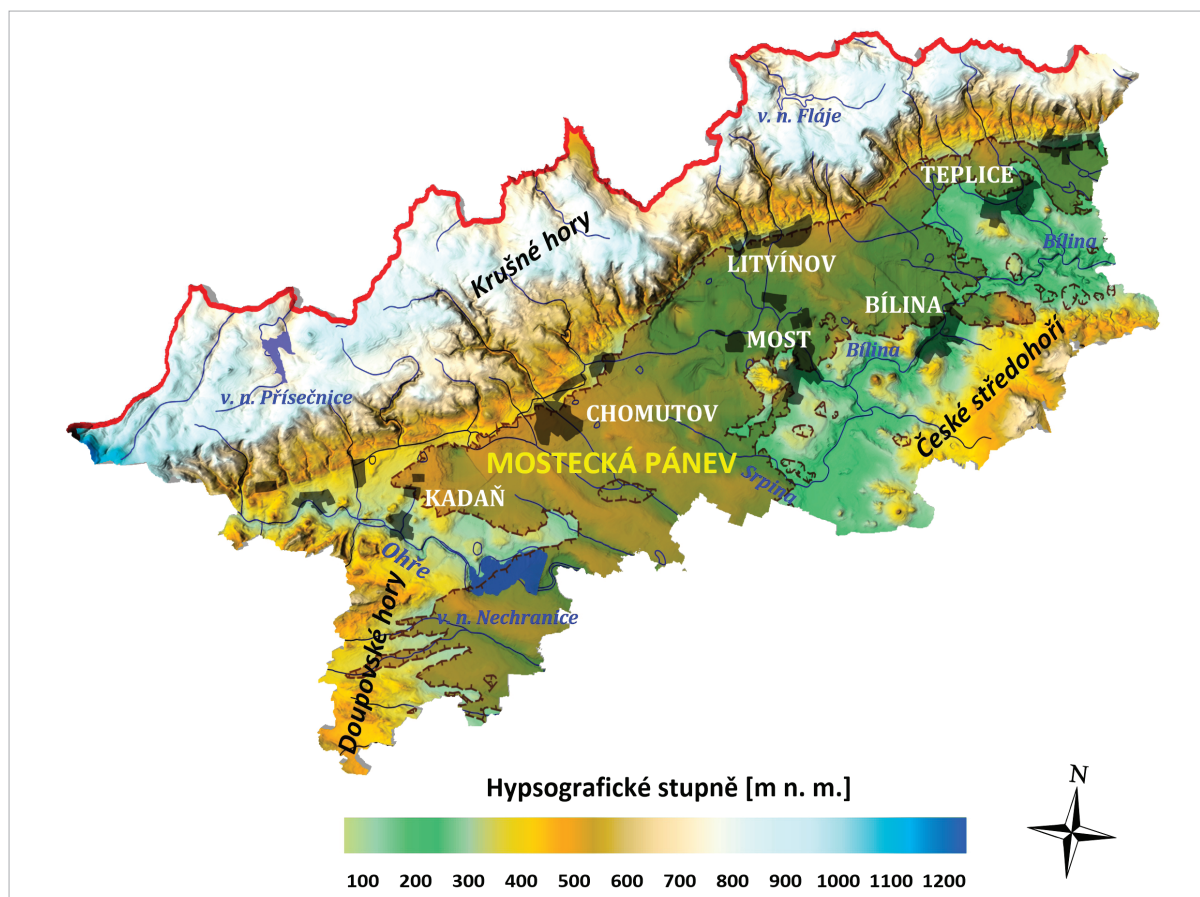
VÚHU a.s. se vzhledem k jejímu významu zaměřil na oblast Mostecké pánve (MP) situované v SZ Čechách. Ta je známá jako největší ložisko hnědého uhlí v České republice. Hnědé uhlí je dobýváno čtyřmi velkolomy (Bílina, Libouš, Vršany, ČSA) a přes postupný útlum těžby tvoří stále základní českou

energetickou surovinu. Oblast Mostecké pánve (viz obrázek č. 1) je obecně známá jako suchá a poměrně teplá část České republiky.

Článek se zabývá jednotlivými oblastmi výzkumu realizovanými v rámci projektu TEXMIN. První část je věnována historickým podkladům o vývoji klimatu v ČR a Evropě. Následuje stručné shrnutí prognózy vývoje klimatu v těžební oblasti MP a jeho dopadům na rekultivační práce (dílčí údaje již byly publikovány) [4,7]. Hlavní část článku je věnována vývoji koncentrací škodlivin v ovzduší ve vztahu ke klimatu.

2 Metodika výzkumu

Údaje o historickém vývoji klimatu v zájmové oblasti a Evropě byly zpracovány jako souhrn z archivních dokumentů.



Obr. 1: Situace oblasti Mostecké pánve. [7]

Pro hodnocení vývoje teplot a srážek v období 1961-2019 byla využita dostupná data Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), regionálních meteorologických stanic Kopisty, Milešovka a Ústí nad Labem - Kočkov, data těžebních společností a vlastní data VÚHU a.s. Náročnější bylo prognózování dalšího vývoje teploty a srážek. Výstupy regionálního klimatického modelu ALADIN-CLIMATE/CZ, řízeného globálním modelem ARPEGE a provozovaného v ČHMÚ, byly využity k odhadu dalšího vývoje klimatu v České republice a přímo těžební oblasti severozápadních Čech.

Pro vyhodnocení dopadů klimatické změny na hornictví a rekultivace byly vybrány vhodné případové výskyty a oblasti s různou rekultivační historií, včetně ploch ponechaných přirozené sukcesi [3,6,9]. Následovalo půdní mapování, odběry vzorků, fotodokumentace a realizace laboratorních analýz.

Výběr laboratorních zkoušek a analýz jejich výsledků byl stanoven v rozsahu osvědčených metodik dlouhodobě v Mostecké pánvi používaných při rekultivačních činnostech [1]. U každého vzorku bylo realizováno stanovení zrnitosti, hodnocení mineralogického složení na RTG difraktometru Siemens, stanovení půdní reakce, stanovení obsahu CaCO_3 , stanovení obsahu a kvality oxidovatelného uhlíku a humusu, stanovení obsahu dusíku, stanovení sorpční schopnosti a stanovení obsahu přijatelných živin dle Melicha III.

Veškeré realizované laboratorní analýzy byly provedeny zkušebními laboratořemi VÚHU a.s. a VÚMOP, v.v.i. akreditovanými ČIA dle ČSN EN 150/IEC 17025 na základě interních metodických postupů vycházejících z příslušných norem [10].

3 Vývoj klimatu a životního prostředí

Tato problematika nebyla přímo součástí projektu TEXMIN, seznámení se s dlouhodobým vývojem klimatu však bylo pro pochopení zkoumaných jevů nezbytné.

V období před vznikem civilizace byly změny životního prostředí dány prakticky výhradně změnami klimatu. Studium mořských sedimentů bylo zjištěno 5 klimatických cyklů s periodou od desítek milionů let (cykly 1. řádu) po cca 10 tisíc let (cykly 5. řádu). Jejich příčinou jsou astronomické jevy (sluneční aktivita, precese rotační osy Země, excentricita orbitální dráhy Země kolem slunce a další) [2]. Vedle těchto cyklických změn byly zaznamenány prudké změny klimatu vlivem katastrofických událostí. Šlo o extrémně chladnou prekambriickou periodu (neznámá příčina), vyhynutí většiny života na rozhraní perm – trias (pravděpodobně rozsáhlá vulkanická činnost v oblasti dnešní Sibíře) a populární vyhynutí dinosaurů a dalších druhů na rozhraní křída – terciér (dopad asteroidu v oblasti dnešního Mexika) [8].

Posledním klimatickým jevem, který již ovlivnil vývoj Homo sapiens sapiens, bylo střídání ledových a meziledových dob ve čtvrtohorách. Dle paleontologických výzkumů byl lidský poddruh krátkodobě blízko vyhynutí [8].

Další, méně výrazné změny klimatu již přímo ovlivňovaly lidskou civilizaci [8]. První zaznamenaná „ekologická krize“ nastala zhruba 1000 let před naším letopočtem. Byla charakteristická odlesněním, suchem, přívalem deště na podzim a erozí půdy, a vedla k zániku většiny říší ve středozemní oblasti

s výjimkou Egypta. Od raného středověku již lze na základě kronik rekonstruovat jednotlivé klimatické periody.

Malé klimatické optimum let 875-1194 bylo charakteristické vyššími teplotami, které umožnily rozvoj zemědělství. V této době Eskymáci poprvé osídlili nejsevernější ostrovy Kanady a Vikingové kolonizovali Island a grónské pobřeží. Následovala malá doba ledová v letech 1195-1465. Zásadní zhoršení klimatu znamenalo i zásadní pokles zemědělské výroby. Podvýživa, epidemie a konflikty způsobily i velký pokles počtu obyvatel. V této době byly opuštěny vikingské osady v Grónsku. Malé klimatické optimum v letech 1466-1618 bylo charakteristické vyššími teplotami. V Čechách to znamená historicky největší rozvoj vinařství, ale i pěstování melounů a šafránu pravého, a také značný rozvoj chmelařství. Následovala dlouhá malá doba ledová let 1619-1897. Jako každé období měla i tato malá doba ledová své výkyvy. Nejhoršími byly její dva vrcholy - studené klimatické epizody v letech 1655-1665 a 1687-1697. V těchto obdobích zamrzalo i moře kolem Benátek a došlo k značnému úbytku obyvatel Skandinávie a Islandu. Následovalo postupné oteplování vedoucí k současnému klimatickému optimu [4]. Oproti předcházejícím obdobím je charakteristické tím, že jednou z příčin je pravděpodobně průmyslová činnost člověka (emise skleníkových plynů). Nárůst teploty v posledních 50 letech ukazuje obrázek č. 2 [7].

Jak plyne z výše uvedeného textu, změny klimatu významně ovlivňovaly vývoj civilizace. V historii lidstva byla zaznamenána řada klimatických optim a malých dob ledových. Z tohoto pohledu není současné klimatické optimum ničím výjimečným. Jedinou změnou je pravděpodobný příspěvek průmyslové činnosti člověka.

4 Stručné shrnutí vývoje klimatu v oblasti Mostecké pánve

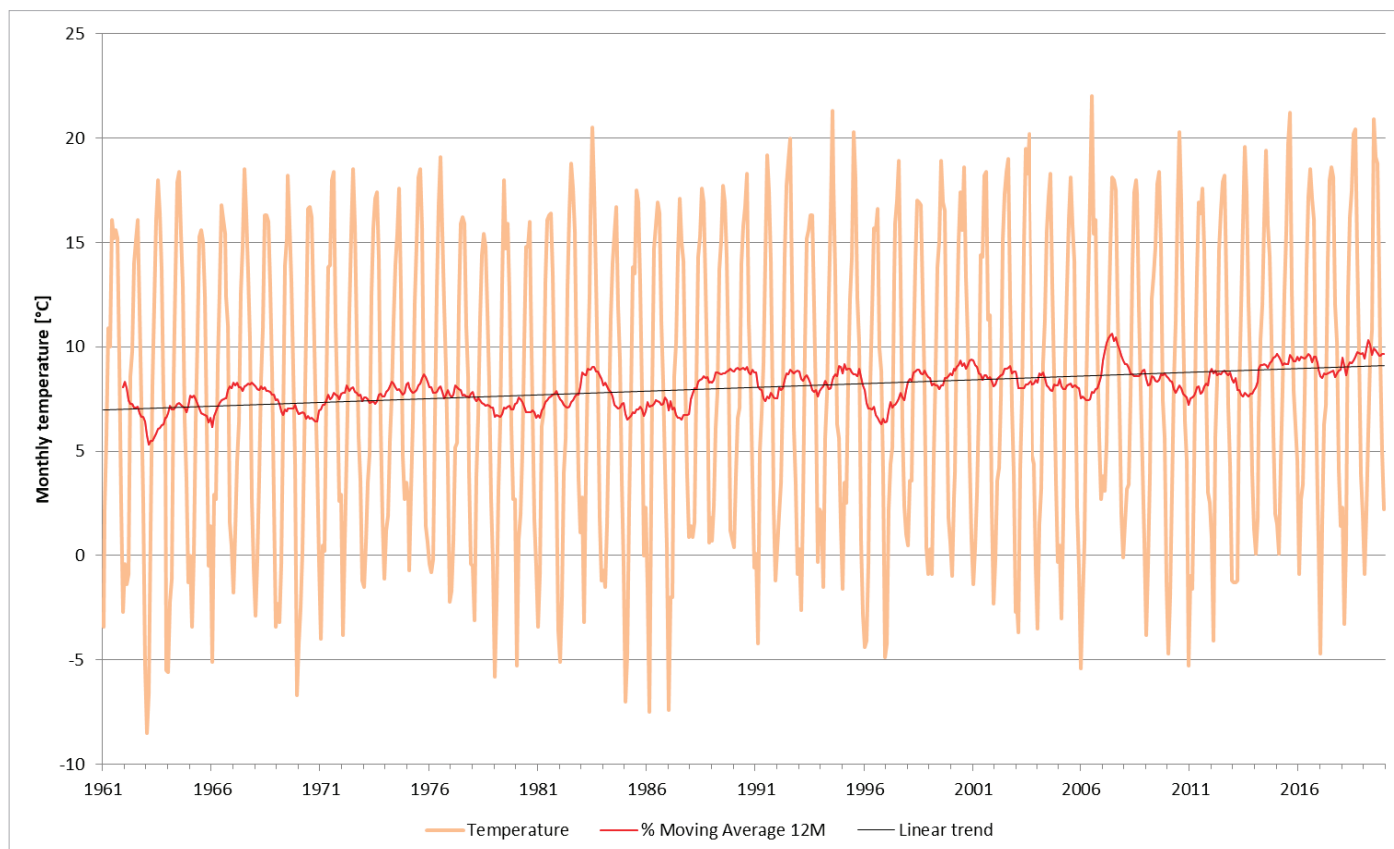
Některé výstupy z této oblasti výzkumu již byly publikovány, proto je zde uvedeno pouze stručné shrnutí. V rámci řešení projektu TEXMIN byl jako východisko pro hodnocení teploty a srážek všech zájmových evropských lokalit zvolen rok 1961. Důvodem byla potřeba sjednocení metodiky měření všech řešitelských organizací.

4.1 Historie a prognóza budoucího vývoje teploty

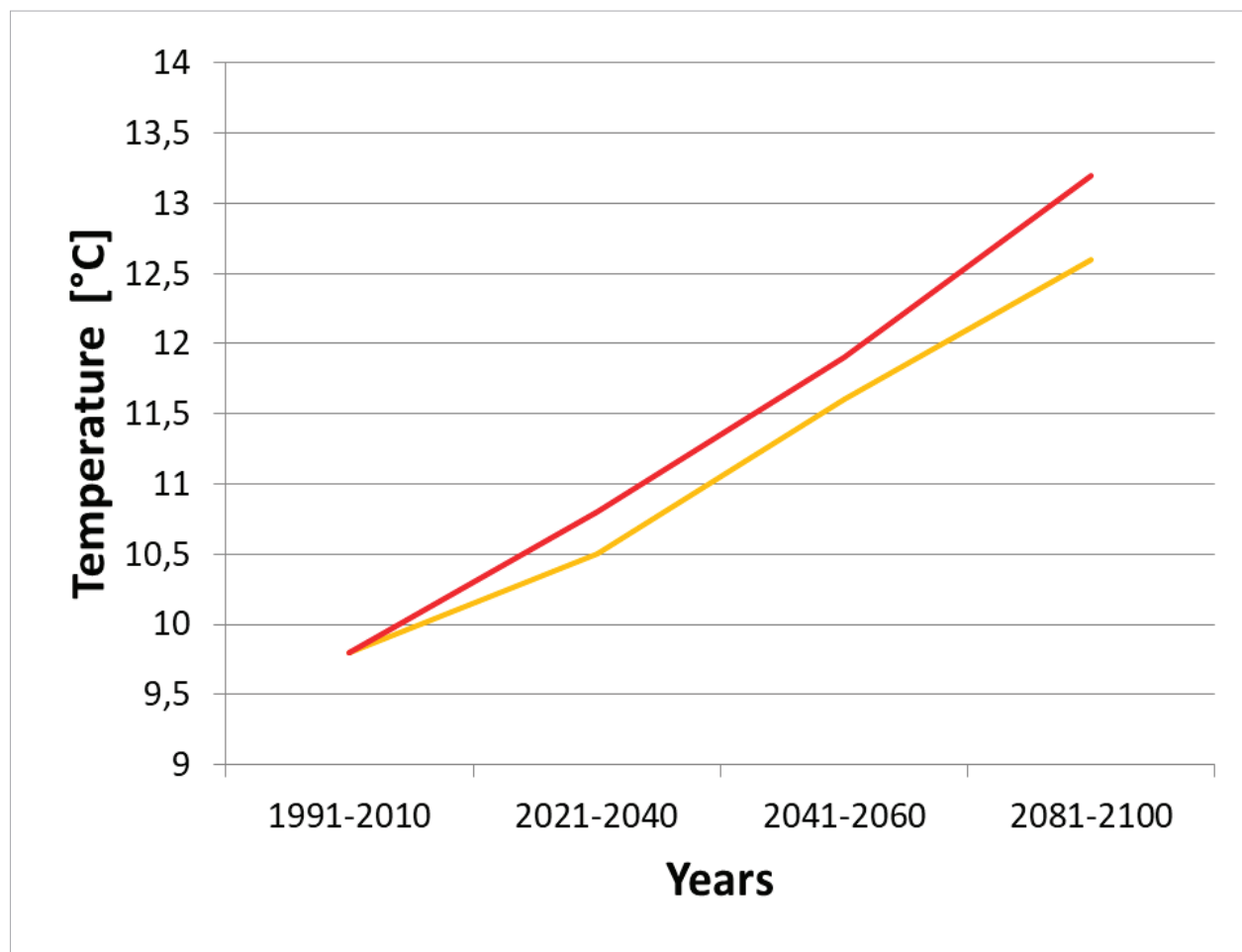
V případě teploty lze v hodnoceném období konstatovat na základě zpracování dat jednoznačný nárůst teploty v České republice i konkrétní oblasti Mostecké pánve. Dokládá to graf na obrázku č. 2.

Výsledky simulací s modelem ALADIN-CLIMATE/CZ naznačují, že průměrné roční teploty se do roku 2030 mohou ve srovnání s obdobím 1961-1990 zvýšit o 1,1 °C (medián).

Klimatické modely se shodují na tom, že teploty vzduchu budou i nadále stoupat v závislosti na emisním scénáři RCP (Representative Concentration Pathways). Nejčastěji se používají scénáře RCP 4,5 (předpoklad mírného snižování množství CO₂ ve vzduchu) a RCP 8,5 (nepředpokládá žádnou změnu koncentrace CO₂). Podle RCP 4,5 dojde na konci století k oteplení o cca 2,0 °C, podle RCP 8,5 o až 4,1 °C. Situace průměrné roční teploty v závislosti na emisním scénáři pro Mosteckou pánev je ukázána na obrázku č. 3.



Obr. 2: Nárůst průměrné teploty v období 1961-2019 pro Českou republiku. [7]



Obr. 3: Vývoj průměrné teploty v oblasti Mostecké pánve do roku 2100. [7]

4.2 Historie a prognóza budoucího vývoje srážek

Širší okolí Mostecké pánve ležící ve srážkovém stínu Krušných hor je bez ohledu na klimatickou změnu známé jako suchá oblast v rámci České republiky. Vyhodnocení dlouhodobého vývoje srážek je mnohem komplikovanější, nežli je tomu v případě teploty. Trend není jednoznačný, v období 1991-2013 lze pozorovat spíše mírný nárůst srážek, období 2015-2019 bylo naopak velmi suché. Vývoj srážek v období 1962-2019 ukazuje graf na obrázku č. 4.

Výsledky simulací s modelem ALADIN-CLIMATE/CZ nepředpokládají celkové snížení ročních souhrnů srážek, naznačují však významnou variabilitu průměrných úhrnů srážek. Prognózované hodnoty signalizují riziko zvýšení deficitu vlhkosti půdy ve druhé polovině jara a v létě, s přihlédnutím ke zvýšenému odparu vlivem vyšších teplot. Výskyt jednotlivých suchých period je dosti pravděpodobný.

Modelování vývoje srážek je podstatně obtížnější než modelování teploty. Proto může být výsledek zatížen značnou chybou.

5 Dopady klimatických změn na rekultivační práce

I tato problematika již byla z části publikována [4,7]. Dlouhodobé zvyšování teplot je pro hornickou činnost spíše příznivé. Jedinou výjimkou jsou finanční náklady a potřeba vody

na nutná protipražná opatření. Nebezpečné by mohly být spíše jednorázové přívalové srážky.

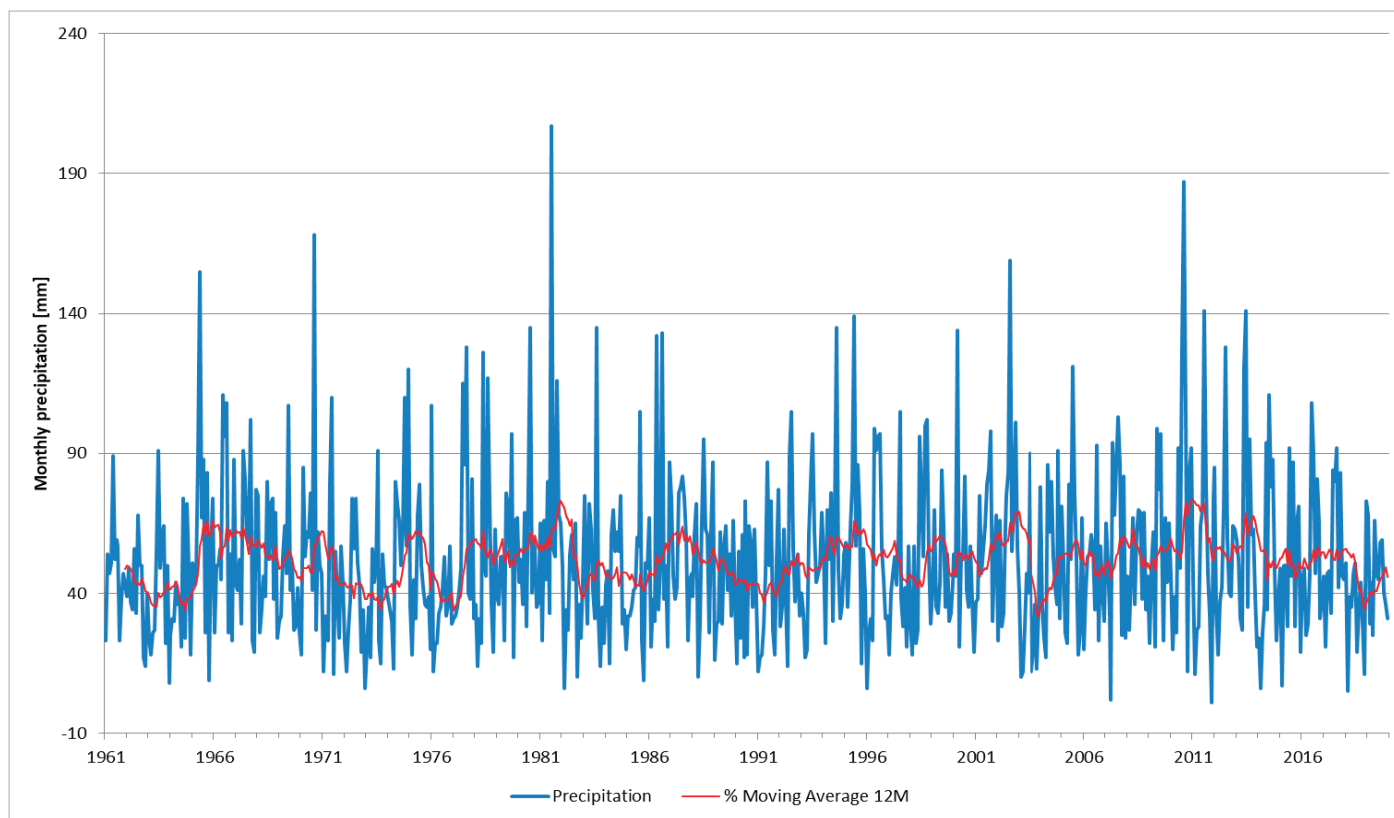
Mnohem vážnější je situace v oblasti rekultivačních prací. Suchá perioda let 2015-2019 s extrémně suchým rokem 2018 způsobila velké škody především na lesnických rekultivacích.

Nejvýznamnějším dopadem na rekultivace je tedy vysoký úhyn sazenic způsobený vyšší četností suchých období. Na řadě lokalit je vliv sucha na úhyn sazenic dobře doložený. V oblasti Dolů Nástup Tušimice je významný i výskyt hydrogenetického sádrovce, který nepříznivě ovlivňuje půdní reakci zemin.

5.1 Problematika výskytu přírodního sádrovce v oblasti Dolů Nástup Tušimice a první navržená adaptační opatření

Problém byl zaznamenán v roce 2016, kdy byla na řadě ploch zjišťována příčina nadměrného úhynu dřevin [4]. Nadložní jíly lokality jsou pedologicky značně homogenní a jejich půdní vlastnosti (s výjimkou příliš jemného zrnitostního složení) jsou velmi příznivé. Prakticky jediným vysvětlením úhynu dřevin byla tedy půdní reakce. Výsledky, přes velké rozdíly mezi jednotlivými sondami, potvrdily značně zásaditou půdní reakci zemin (pohybovala se v rozmezí 7,12-8,05 a zpravidla přesahovala hodnotu 7,5).

Zásaditá půdní reakce zeminy (pH cca nad 7,5) má skutečně pro většinu dřevin zásadní negativní důsledky [5]. Významná je především blokáce příjmu živin (zejména Mg) a narušení



Obr. 4: Průměrné srážky v období 1961-2019. [7]

procesu fotosyntézy. Obecně dřeviny tolerují spíše mírně kyselé půdy než zásadité. Přítomnost solí (doložen sádrovec) v kořenícím horizontu situaci ještě zhoršuje a je jednoznačně negativní. Vazba na vodu (sádrovec) plochu vysušuje, což je zvláště v období suchých period z hlediska úhynu sazenic velmi nepříznivé.

Po vyhodnocení výsledků byla doporučena pokusná aplikace vybraných aditiv vhodných pro mírné okyselení zemin na vybraných plochách. Po zvážení jednotlivých možností byla navržena aplikace síranu amonného. Doporučené dávkování síranu amonného činí cca 3-4 kg/100 m².

Výsledky analýz (viz tabulka 1) dokládají značnou účinnost aplikace síranu amonného. Efekt však není trvalý, na obrázku č. 5 jsou ukázány výkvěty sádrovce na zemině z plochy ošetřené v roce 2018. Z dosavadních prací vyplývá pravděpodobná potřeba aplikace v intervalu 2 let.

5.2 Problematika úhynu sazenic způsobeného suchem a první navržená adaptační opatření

V období 2015-2019 se zvýšil výskyt suchých period ve vegetačním období. Celkově velmi suché vegetační období lze konstatovat v letech 2015 a zejména 2018, v roce 2019 byly výjimečně suché měsíce duben a červenec.

Tato období způsobila neobvykle vysoký úhyn sazenic. V některých případech šlo o kombinaci sucha a půdních vlastností plochy, v některých případech však byl úhyn způsoben výhradně suchem. Příkladem může být lesnická rekultivace Mariánské Radčice.

Období 2015-2019 je pro zásadnější závěry příliš krátké, v případě pokračování tohoto trendu však bude podobných, suchem postižených lokalit přibývat. Dlouhodobě by mohly náklady na rekultivace extrémně vzrůst vzhledem k nákladům na dosadby a k potřebě radikální změny rekultivační metodiky.

Tab. 1: Půdní reakce zemin vybraných ploch před a po aplikaci síranu amonného. [4]

Plocha	pH před aplikací (2016)	pH po aplikaci (2017)	pH před aplikací (2018)	pH po aplikaci (2019)
Březno XV	7,49	6,92	7,30	6,72
Březno XVI	8,05	6,72	7,11	6,33
Březno XVII	7,85	6,92	7,45	6,90
Březno XVIII	7,40	6,69	7,19	6,58
Merkur XIX	7,57	6,70	7,76	7,21
Merkur XX	-	-	7,15	6,88
Merkur XXI	-	-	7,76	7,21
Libouš I	-	-	7,48	7,15



Obr. 5: Výkvěty sádrovce na vzorku jílovce odebraného v roce 2021. (Foto: M. Řehoř)

Proto je možné již nyní navrhnout některá jednoduchá opatření. Lze doporučit úpravu způsobu vyžínání; na takto slunečných lokalitách by tráva mohla sazenice částečně chránit a eliminovat by se poškození sazenic sekačkami a křovinořezy (na hodnocené lokalitě bylo zjištěno). Dále by bylo vhodné při dosadbě v rámci pěstební péče preferovat druhy odolnější proti suchu. V případě pokračování trendu suchých období bude třeba druhy odolné proti suchu preferovat již v projektech biologické rekultivace a zvláště na jílovitých zeminách zvýšit aplikaci substrátů zlepšujících zasakovací schopnost půdy. Odolnost dřevin běžně užívaných v Mostecké pánvi vzhledem k horku a suchu ukazuje následující tabulka 2, která vychází z dlouholetých zkušeností VÚHU a České zemědělské univerzity s lesnickými rekultivacemi.

6 Vývoj koncentrací škodlivin v ovzduší v oblasti Mostecké pánve

Dosud nepublikované problematice dlouhodobého vývoje koncentrace škodlivin v ovzduší v oblasti Mostecké pánve je v přís-

Tab. 2: Odolnost jednotlivých dřevin vzhledem k horku a suchu.

Dřevina		Odolnost vůči suchu a horku
Hlavní dřeviny		
Dub zimní	<i>Quercus petraea</i> Liebl.	Střední
Dub letní	<i>Quercus robur</i> L.	Sucho – nízké/ Horko – vysoké
Dub červený	<i>Quercus rubra</i> L.	Střední
Habr obecný	<i>Carpinus betulus</i> L.	Střední až vysoká
Javor klen	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	Střední
Javor mléč	<i>Acer platanoides</i> L.	Střední
Lípa srdčitá	<i>Tilia cordata</i> Mill.	Střední až vysoká
Jasan ztepilý	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Nízká
Borovice lesní	<i>Pinus sylvestris</i> L.	Sucho – střední/ Horko – vysoká
Borovice černá	<i>Pinus nigra</i> Arn.	Vysoká
Modřín opadavý	<i>Larix decidua</i> Mill.	Vysoká
Bříza bradavičnatá	<i>Betula verrucosa</i> Ehrh.	Vysoký
Vybrané pomocné dřeviny		
Babyka, javor polní	<i>Acer campestre</i> L.	Vysoká
Lípa velkolistá	<i>Tilia platyphyllo</i> Scop.	Nízká až střední
Jeřáb ptačí	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	Vysoká
Olše lepkavá	<i>Alnus glutinosa</i> L.	Nízká
Topol osika	<i>Populus tremola</i> L.	Vysoká
Vrba jíva	<i>Salix caprea</i> L.	Vysoká
Dřín obecný	<i>Cornus mas.</i> L.	Střední až vysoká
Hloh obecný	<i>Crataegus oxyacantha</i> L.	Střední
Líska obecná	<i>Corylus avellana</i> L.	Střední
Janovec metlatý	<i>Sorothamnus scoparius</i> L.	Vysoký
Ptačí zob obecný	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	Vysoká
Řešetlák počistivý	<i>Rhamus cathartica</i> L.	Střední až vysoká
Svída krvavá	<i>Cornus sanguinea</i> L.	Střední
Zimolez obecný	<i>Lonicera xylosteum</i>	Střední až vysoká

pěvku věnována největší pozornost. Jak je uvedeno v kapitole 3, práce vychází ze zpracování rozsáhlého souboru dat ČHMÚ.

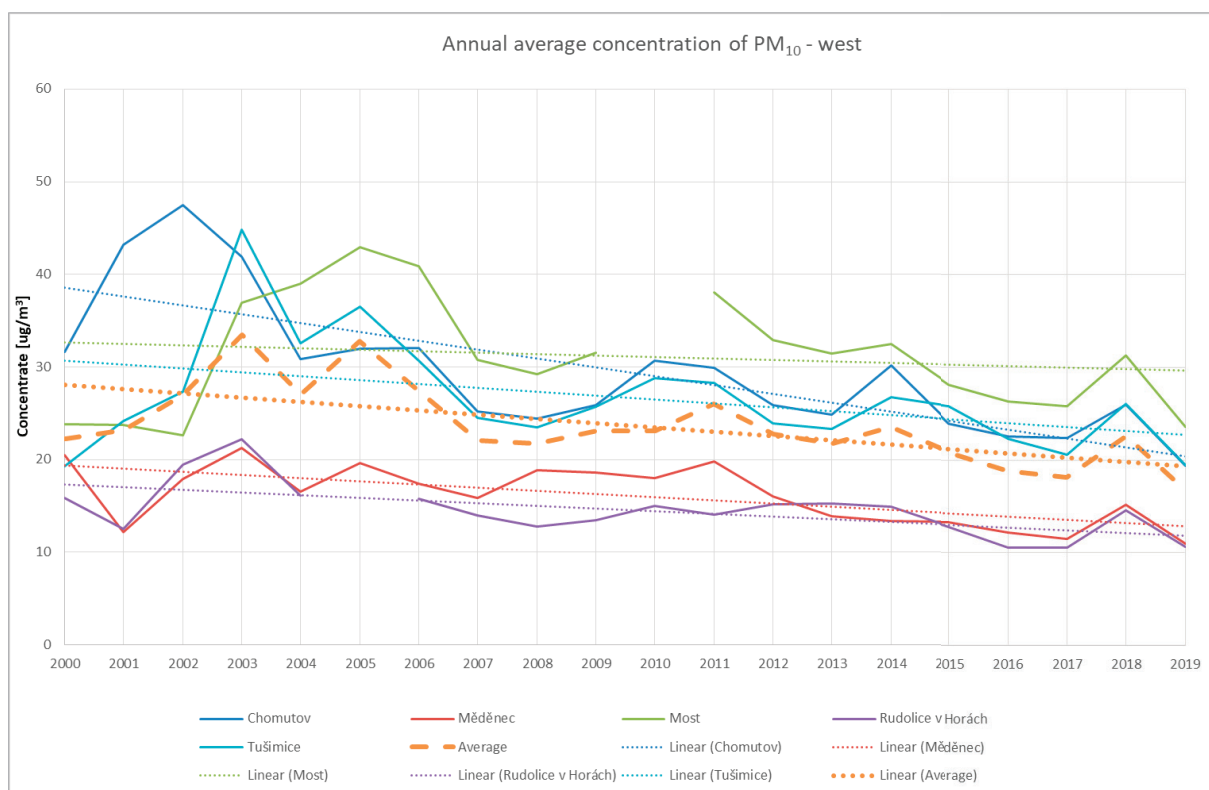
V návaznosti na zpracované údaje základních meteorologických dat (teplota, srážky, tlak) za období posledních 20 let byly zpracovány rovněž další charakteristiky kvality ovzduší. Jednalo se zejména o imisní parametry koncentrace suspendovaných částic frakce PM_{10} a $PM_{2,5}$, koncentrace SO_2 , NO_2 , NO , NO_x , O_3 .

Celá oblast Mostecké pánve byla rozdělena na západní a východní část. Západní část zaujímá okresy Chomutov, Most a Louny, východní část obsahuje okresy Teplice, Ústí nad Labem, Děčín a Litoměřice. V západní části se nachází hnědouhelné povrchové lomy DNT, Vršany a ČSA, ve východní části se nachází povrchový lom Bílina a další průmyslové objekty. V celé oblasti se nachází zároveň 7 hlavních velkých energetických zdrojů (elektrárny a teplárny) spalujících hnědé uhlí.

Kvalita ovzduší je v této oblasti sledována sítí měřicích stanic imisního monitoringu. Pro analýzu vývoje imisních charakteristik v dlouhodobé časové řadě byla použita měřená data z následujících stanic imisního monitoringu. V západní části to byly stanice Chomutov, Měděnec, Most, Rudolice v Horách a Tušimice, ve východní části to byly stanice Krupka, Lom, Litoměřice, Teplice, Ústí nad Labem-město a Ústí nad Labem - Kočkov.

Zpracováno bylo časové období let 2000-2019. Měřená data za příslušné roky byla zpracována do hodnot ročních průměrných koncentrací. Pro vyhodnocení vývoje imisních charakteristik byly z jednotlivých stanic imisního monitoringu sestaveny tabulkové a grafické výstupy. U vývoje koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ je dostupných málo měřených dat, protože se měření na jednotlivých stanicích teprve postupně zavádí.

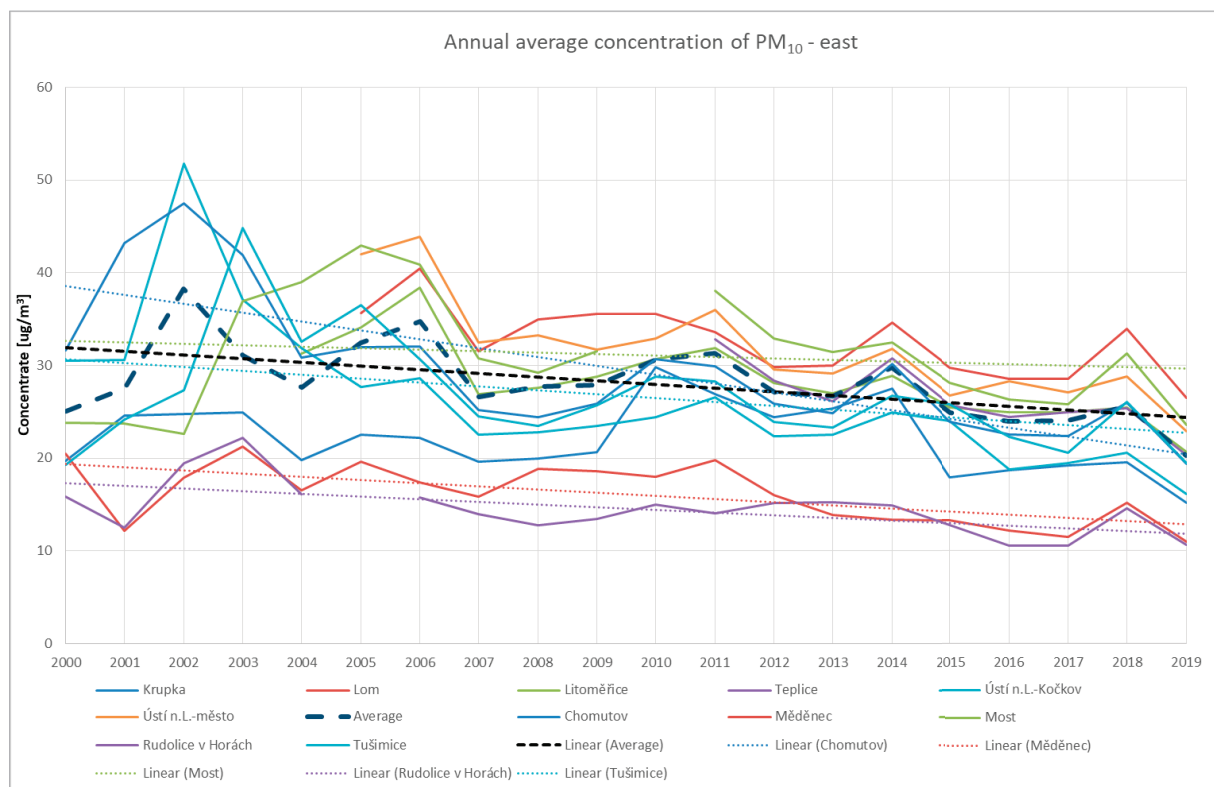
6.1 Tabulkové a grafické zpracování vývoje koncentrací jednotlivých škodlivin



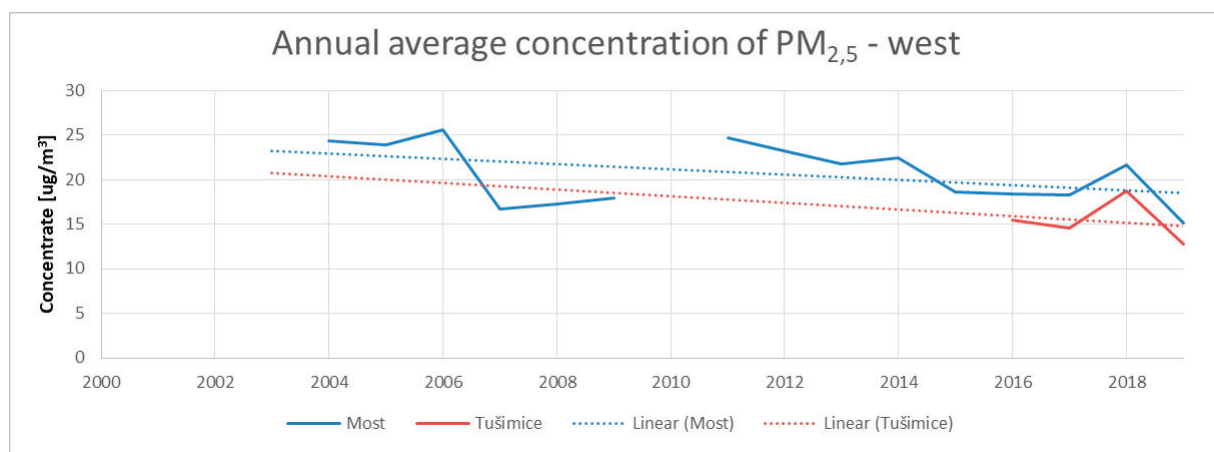
Obr. 6: Roční průměry koncentrace suspendovaných částic PM_{10} (západní část pánve).

Tab. 3: Roční průměry koncentrace suspendovaných částic PM_{10} (západní část pánve).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Chomutov	31,6	43,2	47,5	41,9	30,8	32,0	32,1	25,2	24,4	25,9	30,7	29,9	25,9	24,8	30,2	23,9	22,5	22,4	25,9	19,3
Měděnec	20,5	12,2	17,9	21,3	16,5	19,6	17,4	15,9	18,8	18,6	18,0	19,8	16,0	13,9	13,3	13,3	12,1	11,5	15,2	11,0
Most	23,8	23,7	22,6	36,9	39,0	43,0	40,9	30,8	29,2	31,5		38,0	32,9	31,4	32,5	28,1	26,3	25,8	31,3	23,6
Rudolice v Horách	15,9	12,5	19,4	22,2	16,1		15,7	14,0	12,8	13,5	15,0	14,0	15,2	15,3	14,9	12,7	10,6	10,5	14,6	10,6
Tušimice	19,2	24,2	27,3	44,8	32,6	36,5	30,7	24,5	23,5	25,8	28,8	28,2	23,9	23,3	26,8	25,8	22,3	20,5	26,1	19,4
Annual average	22,2	23,1	27,0	33,4	27,0	32,8	27,4	22,1	21,8	23,1	23,1	26,0	22,8	21,8	23,5	20,8	18,8	18,1	22,6	16,8

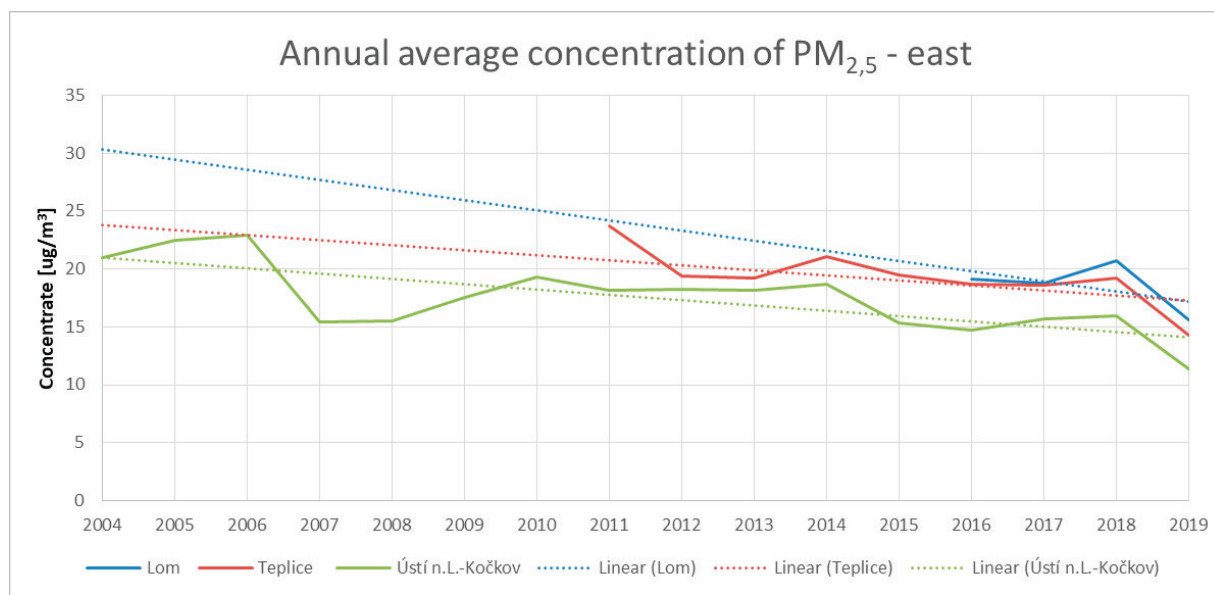
Obr. 7: Roční průměry koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ (východní část pánve).Tab. 4: Roční průměry koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ (východní část pánve).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Krupka	19,7	24,6	24,8	24,9	19,8	22,6	22,2	19,7	20,0	20,7	29,8	26,9	24,4	25,4	27,5	17,9	18,7	19,2	19,5	15,1
Lom						35,7	40,5	31,6	34,9	35,6	35,6	33,6	29,9	30,0	34,6	29,7	28,5	28,5	33,9	26,5
Litoměřice					31,3	34,1	38,4	26,9	27,6	28,8	30,6	31,9	28,1	27,0	28,9	25,4	25,0	24,9	25,5	20,7
Teplice										27,4		32,8	28,4	26,2	30,8	25,7	24,4	25,0	25,4	20,3
Ústí n.L.-Kočkov	30,5	30,6	51,8	37,1	31,9	27,7	28,6	22,6	22,8	23,5	24,4	26,6	22,4	22,5	25,0	24,0	18,7	19,4	20,6	16,1
Ústí n.L.-město						42,0	43,9	32,4	33,2	31,7	32,9	36,0	29,6	29,1	31,8	26,7	28,3	27,1	28,8	22,9
Annual average	25,1	27,6	38,3	31,0	27,7	32,4	34,7	26,6	27,7	27,9	30,7	31,3	27,1	26,7	29,8	24,9	23,9	24,0	25,6	20,3

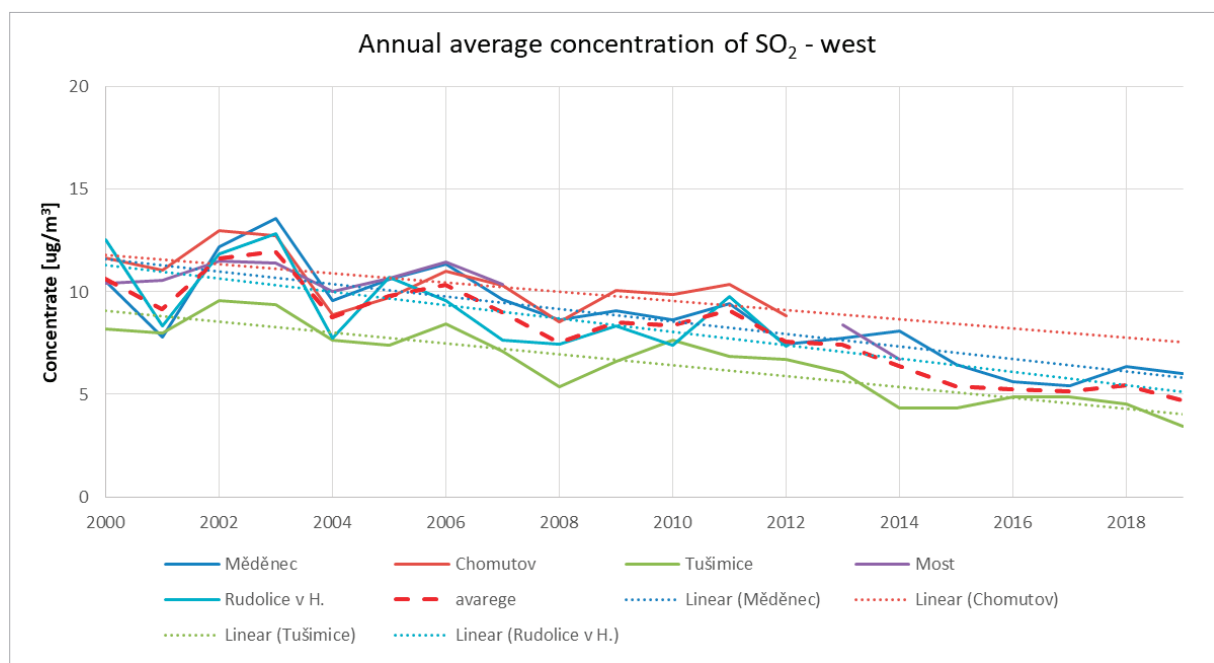
Obr. 8: Roční průměry koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} (západní část pánve).

Tab. 5: Roční průměry koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} (západní část pánve).

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Most		24,3	24,0	25,6	16,8	17,3	18,0		24,7	23,2	21,8	22,4	18,7	18,4	18,3	21,7	15,1
Tušimice														15,5	14,6	18,7	12,8

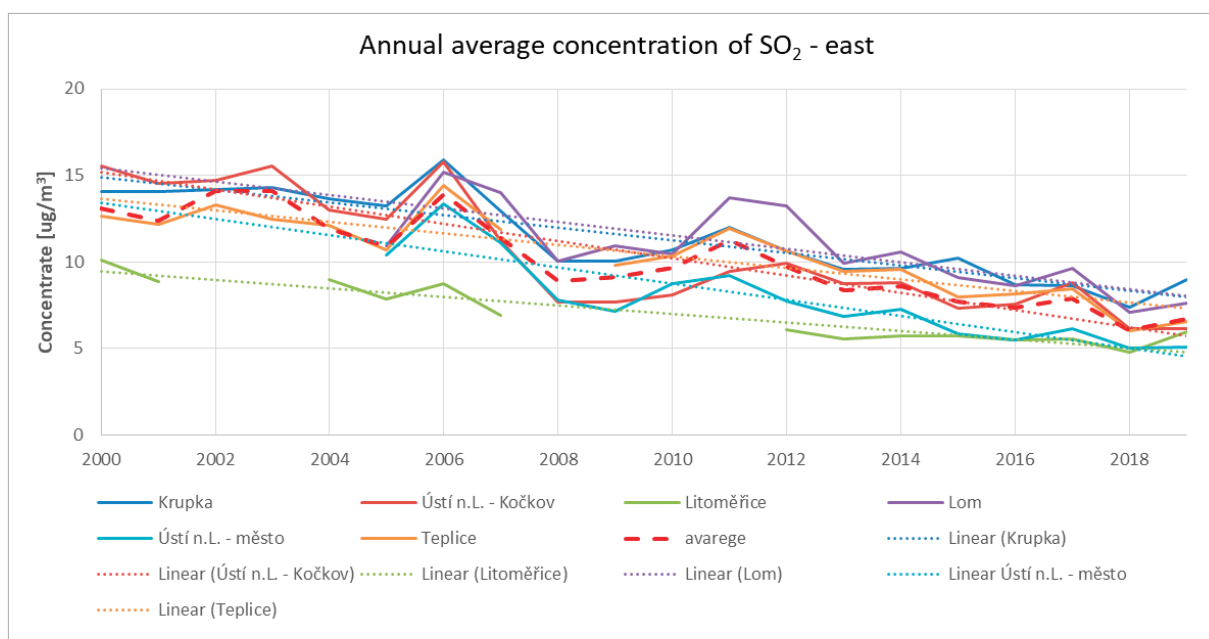
Obr. 9: Roční průměry koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} (východní část pánve).Tab. 6: Roční průměry koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} (východní část pánve).

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Lom													19,1	18,8	20,7	15,6
Teplice						18,9		23,7	19,4	19,2	21,1	19,4	18,7	18,6	19,2	14,3
Ústí n.L.-Kočkov	21,0	22,5	23,0	15,4	15,5	17,5	19,3	18,1	18,2	18,1	18,7	15,4	14,7	15,7	15,9	11,4

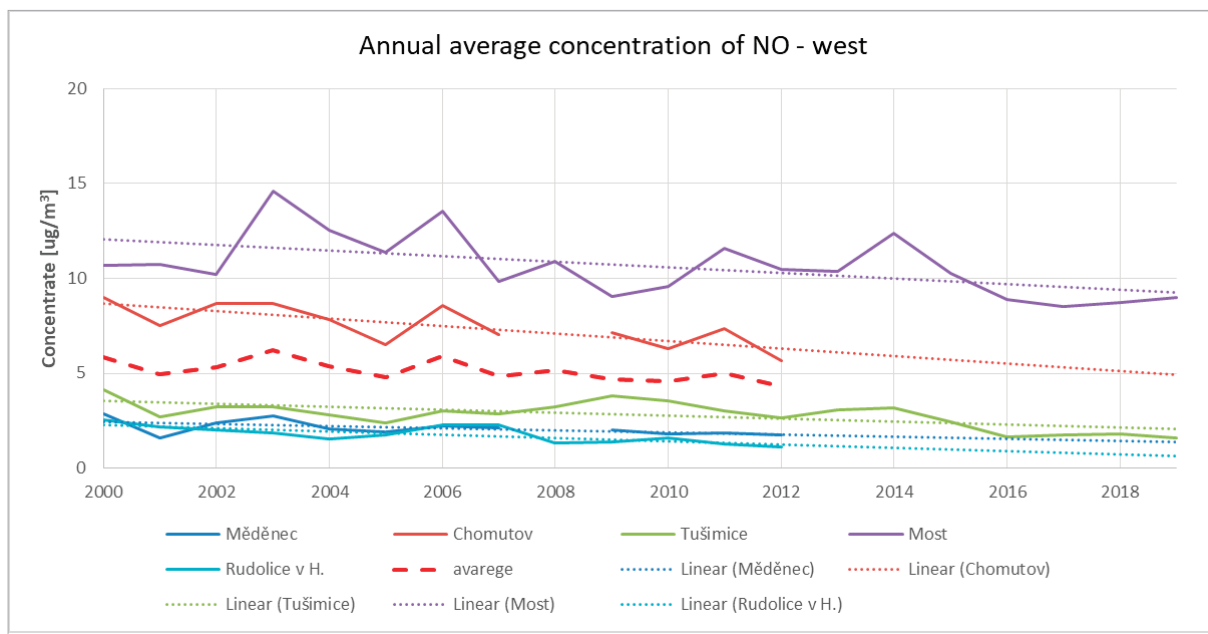
Obr. 10: Roční průměry koncentrace SO₂ (západní část pánve).

Tab. 7: Roční průměry koncentrace SO₂ (západní část pánve).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Měděnec	10,5	7,8	12,2	13,5	9,6	10,6	11,3	9,6	8,6	9,1	8,6	9,4	7,4	7,7	8,1	6,5	5,6	5,4	6,4	6,0
Chomutov	11,6	11,0	13,0	12,7	8,9	9,7	11,0	10,3	8,5	10,1	9,8	10,4	8,8	-	-	-	-	-	-	-
Tušimice	8,2	8,0	9,6	9,4	7,6	7,4	8,4	7,1	5,4	6,6	7,6	6,9	6,7	6,1	4,3	4,3	4,9	4,9	4,5	3,4
Most	10,4	10,5	11,5	11,4	10,0	10,6	11,5	10,4	-	-	-	-	-	8,4	6,7	-	-	-	-	-
Rudolice v Horách	12,5	8,3	11,8	12,8	7,7	10,7	9,5	7,7	7,4	8,3	7,4	9,8	7,3	-	-	-	-	-	-	-

Obr. 11: Roční průměry koncentrace SO₂ (východní část pánve).Tab. 8: Roční průměry koncentrace SO₂ (východní část pánve).

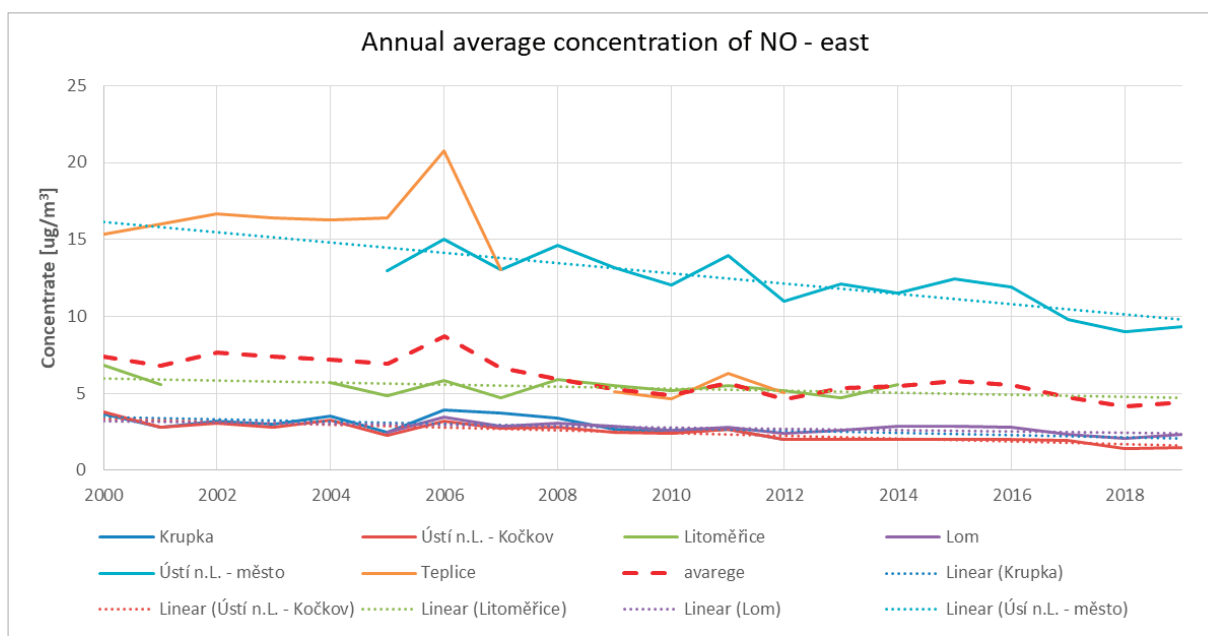
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Krupka	14,1	14,1	14,2	14,3	13,7	13,3	15,9	12,9	10,1	10,1	10,7	12,0	10,6	9,6	9,6	10,3	8,7	8,6	7,4	9,0
Ústí n. L. - Kočkov	15,5	14,5	14,7	15,6	13,0	12,5	15,8	11,2	7,7	7,7	8,1	9,5	10,0	8,7	8,8	7,4	7,5	8,8	6,1	6,2
Litoměřice	10,1	8,9	-	-	9,0	7,9	8,7	6,9	-	-	-	-	6,1	5,5	5,7	5,7	5,5	5,6	4,8	5,9
Lom	-	-	-	-	-	10,9	15,2	14,0	10,1	10,9	10,5	13,7	13,3	9,9	10,6	9,1	8,6	9,6	7,1	7,6
Ústí n. L. - město	-	-	-	-	-	10,4	13,4	11,1	7,8	7,2	8,7	9,2	7,8	6,9	7,3	5,8	5,5	6,2	5,0	5,1
Teplice	12,7	12,2	13,3	12,5	12,1	10,7	14,4	11,9	-	9,8	10,3	11,9	10,7	9,5	9,6	8,0	8,2	8,4	6,0	6,5



Obr. 12: Roční průměry koncentrace NO (západní část pánve).

Tab. 9: Roční průměry koncentrace NO (západní část pánve).

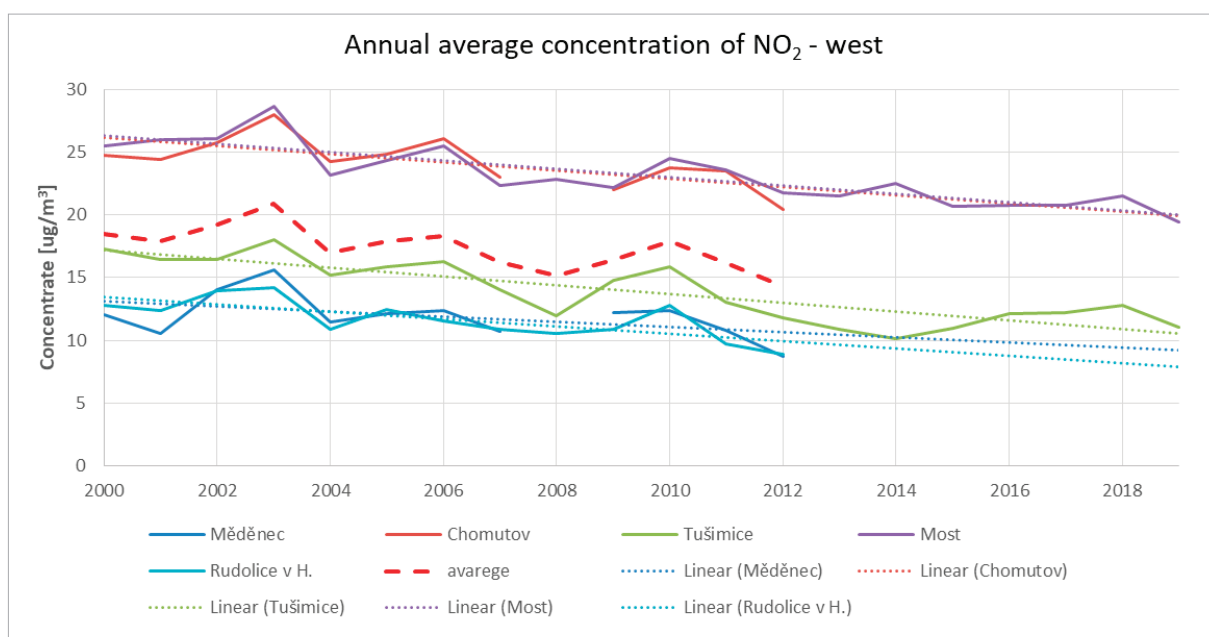
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Měděnec	2,9	1,6	2,4	2,8	2,1	1,9	2,3	2,1	-	2,0	1,8	1,8	1,7	-	-	-	-	-	-	-
Chomutov	9,0	7,5	8,7	8,7	7,8	6,5	8,6	7,0	-	7,2	6,3	7,4	5,7	-	-	-	-	-	-	-
Tušimice	4,1	2,7	3,2	3,2	2,8	2,4	3,0	2,9	3,2	3,8	3,6	3,0	2,7	3,1	3,2	2,5	1,6	1,7	1,8	1,6
Most	10,7	10,7	10,2	14,6	12,5	11,4	13,5	9,8	10,9	9,1	9,6	11,6	10,5	10,3	12,4	10,3	8,9	8,5	8,7	9,0
Rudolice v Horách	2,5	2,2	2,0	1,9	1,5	1,8	2,3	2,3	1,3	1,4	1,6	1,3	1,1	-	-	-	-	-	-	-



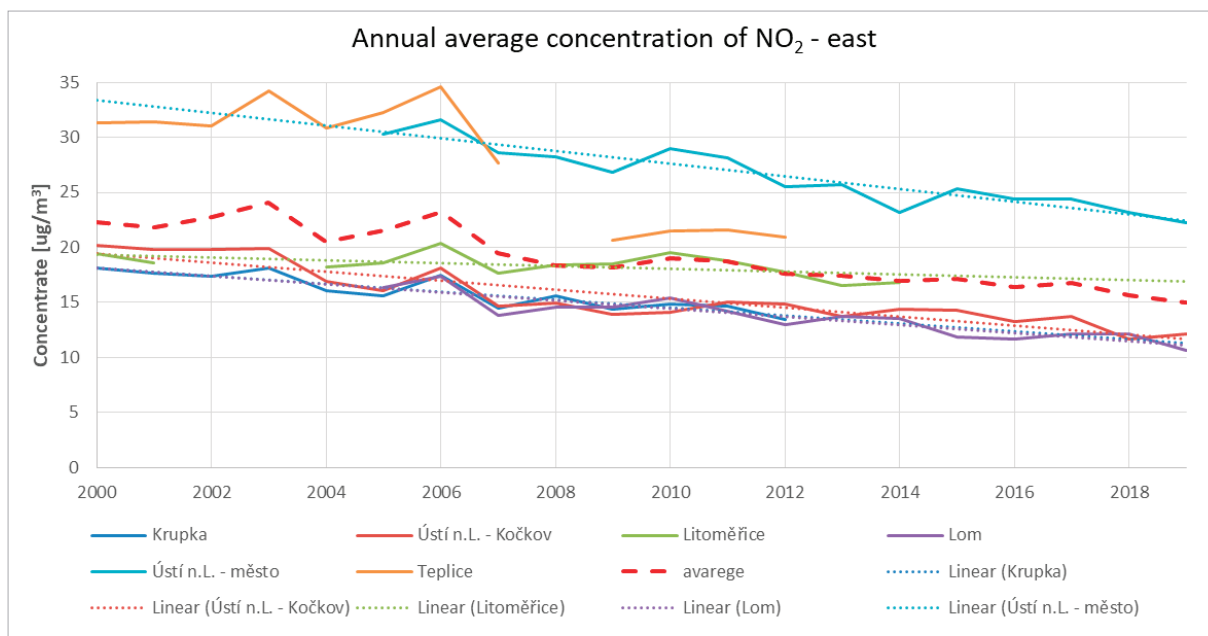
Obr. 13: Roční průměry koncentrace NO (východní část pánve).

Tab. 10: Roční průměry koncentrace NO (východní část pánve).

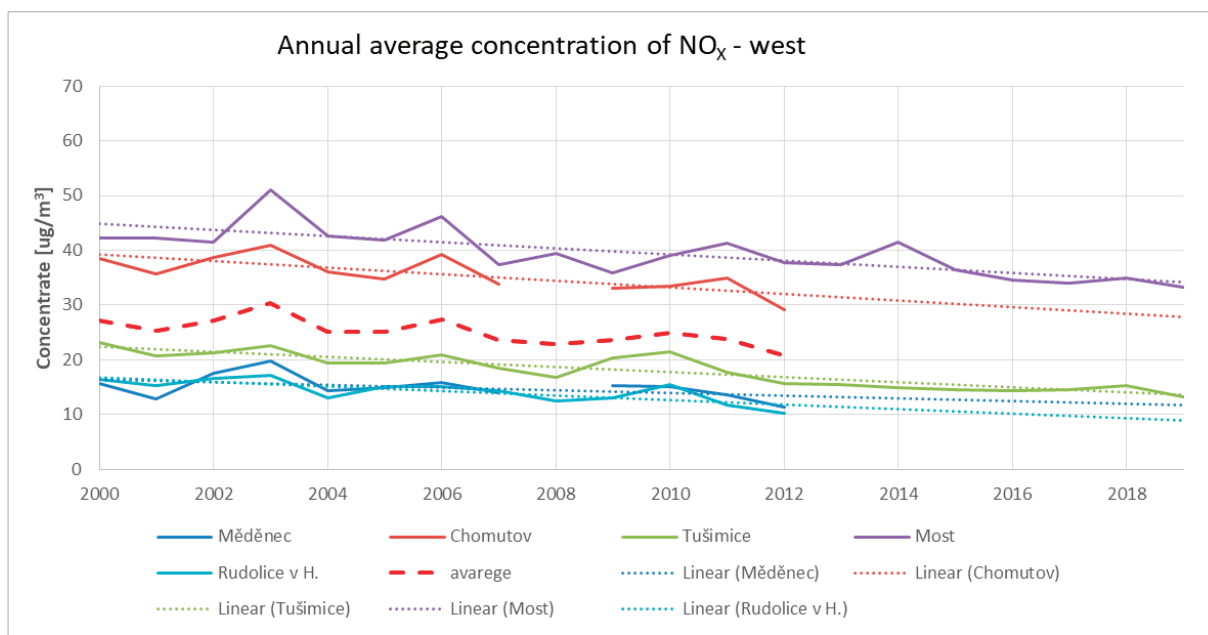
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Krupka	3,7	2,8	3,2	3,0	3,5	2,5	3,9	3,7	3,4	2,6	2,4	2,7	2,0	-	-	-	-	-	-	-
Ústí n. L. - Kočkov	3,8	2,8	3,0	2,8	3,3	2,3	3,2	2,7	2,8	2,5	2,4	2,7	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,4	1,5
Litoměřice	6,8	5,6	-	-	5,7	4,9	5,8	4,7	5,9	5,5	5,2	5,5	5,2	4,7	5,5	-	-	-	-	-
Lom	-	-	-	-	-	2,5	3,4	2,9	3,0	2,9	2,6	2,8	2,4	2,6	2,8	2,9	2,8	2,4	2,1	2,4
Ústí n. L. - město	-	-	-	-	-	12,9	15,0	13,0	14,6	13,1	12,0	14,0	11,0	12,1	11,5	12,5	11,9	9,8	9,0	9,3
Teplice	15,4	16,0	16,6	16,4	16,3	16,4	20,7	13,1	-	5,1	4,6	6,3	5,0	-	-	-	-	-	-	-

Obr. 14: Roční průměry koncentrace NO₂ (západní část pánve).Tab. 11: Roční průměry koncentrace NO₂ (západní část pánve).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Měděnec	12,0	10,5	14,0	15,6	11,4	12,1	12,4	10,7	-	12,2	12,3	10,8	8,7	-	-	-	-	-	-	-
Chomutov	24,8	24,4	25,8	28,0	24,2	24,8	26,0	23,0	-	22,0	23,8	23,5	20,4	-	-	-	-	-	-	-
Tušimice	17,3	16,4	16,4	18,0	15,2	15,9	16,3	14,0	12,0	14,8	15,9	13,1	11,8	10,9	10,1	11,0	12,2	12,2	12,8	11,0
Most	25,5	26,0	26,1	28,7	23,2	24,4	25,5	22,4	22,9	22,1	24,5	23,6	21,8	21,5	22,5	20,7	20,8	20,8	21,5	19,4
Rudolice v Horách	12,8	12,4	14,0	14,2	10,9	12,5	11,6	10,9	10,6	10,9	12,8	9,7	8,9	-	-	-	-	-	-	-

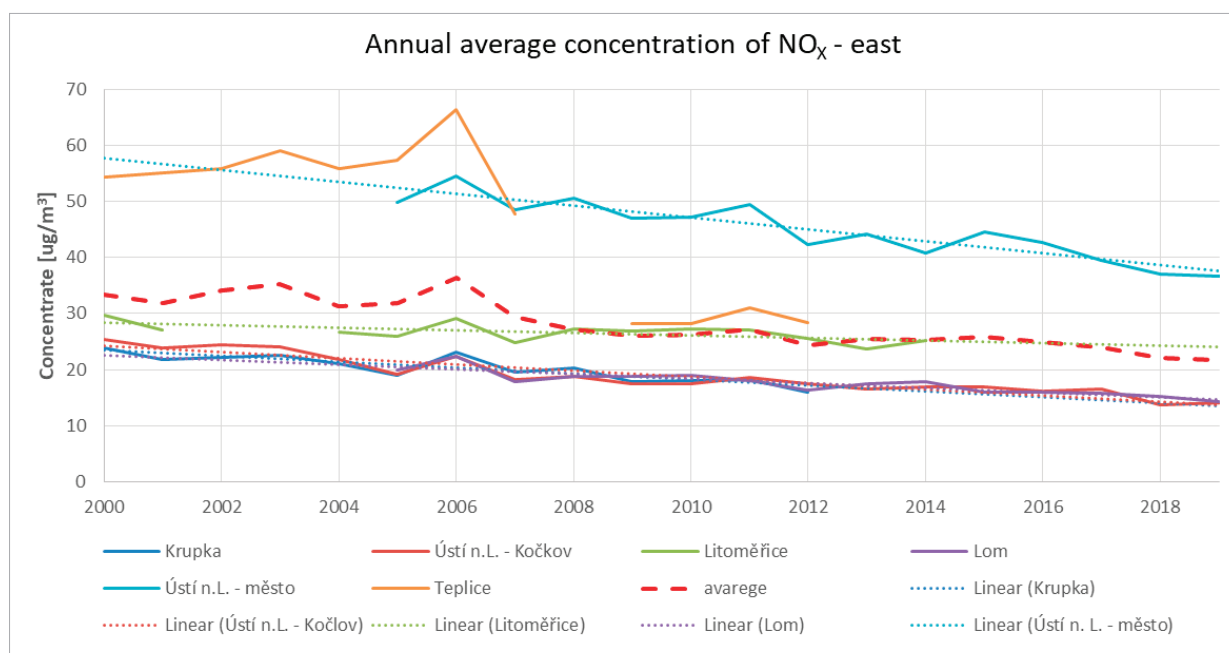
Obr. 15: Roční průměry koncentrace NO₂ (východní část pánve).Tab. 12: Roční průměry koncentrace NO₂ (východní část

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Krupka	18,1	17,6	17,4	18,1	16,1	15,6	17,5	14,5	15,6	14,4	14,9	14,7	13,5	-	-	-	-	-	-	-
Ústí n. L. - Kočkov	20,2	19,8	19,8	19,9	16,9	16,1	18,1	14,7	14,9	14,0	14,1	15,1	14,8	13,8	14,4	14,3	13,3	13,7	11,7	12,2
Litoměřice	19,4	18,6	-	-	18,3	18,6	20,4	17,6	18,4	18,5	19,5	18,8	17,7	16,6	16,8	-	-	-	-	-
Lom	-	-	-	-	-	16,4	17,4	13,8	14,5	14,6	15,4	14,2	13,0	13,7	13,6	11,8	11,7	12,1	12,2	10,6
Ústí n. L. - město	-	-	-	-	-	30,3	31,6	28,7	28,3	26,8	29,0	28,1	25,5	25,7	23,2	25,4	24,4	24,4	23,2	22,3
Teplice	31,3	31,5	31,0	34,2	30,9	32,3	34,6	27,7	-	20,7	21,5	21,6	21,0	-	-	-	-	-	-	-

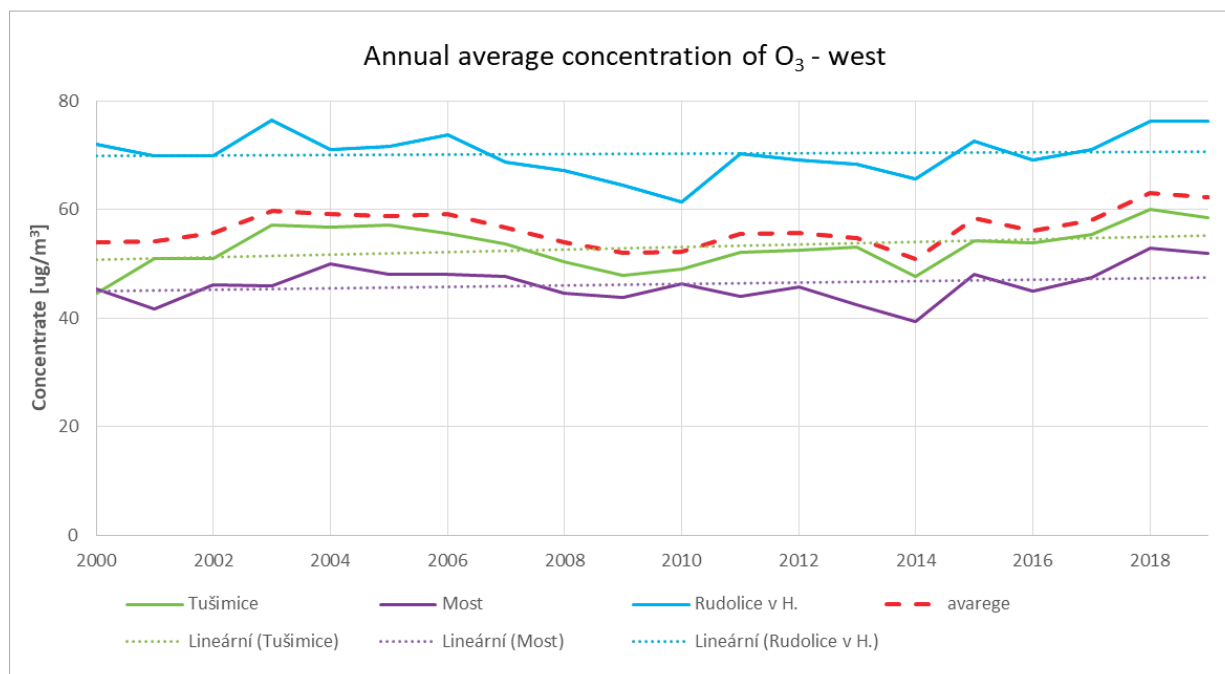
Obr. 16: Roční průměry koncentrace NO_x (západní část pánve).

Tab. 13: Roční průměry koncentrace NO_x (západní část pánve).

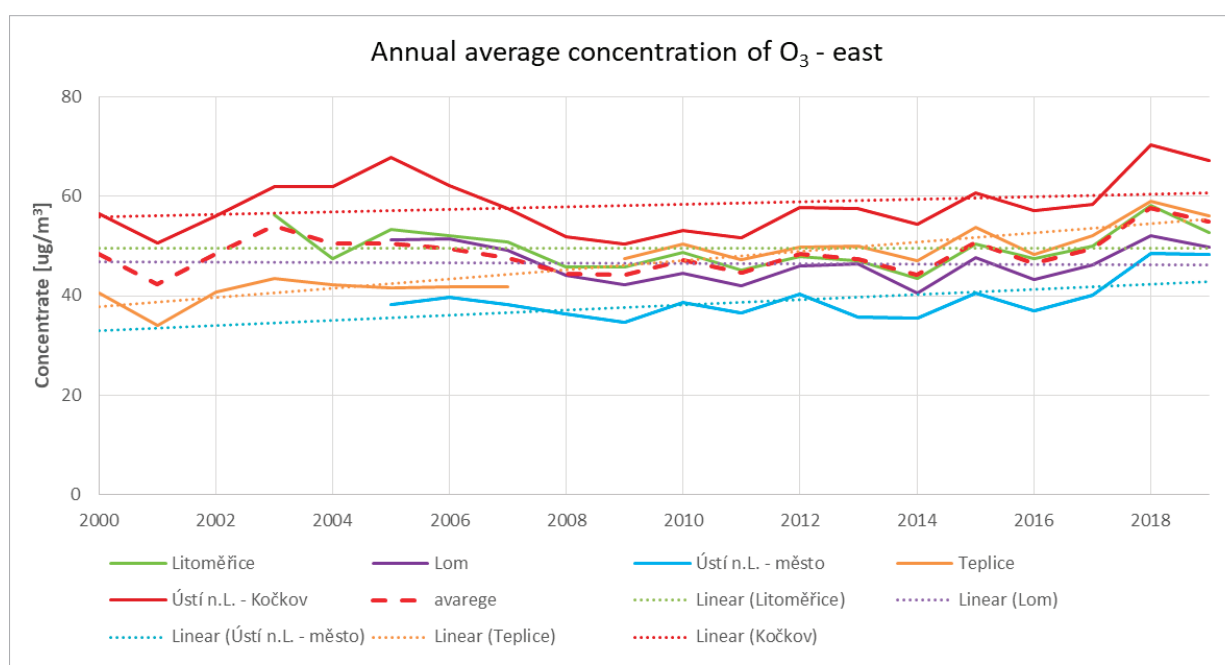
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Měděnec	15,7	12,9	17,5	19,7	14,4	15,0	15,8	13,9	-	15,4	15,2	13,6	11,4	-	-	-	-	-	-	-
Chomutov	38,5	35,7	38,7	40,9	36,1	34,7	39,2	33,9	-	33,1	33,5	34,9	29,1	-	-	-	-	-	-	-
Tušimice	23,1	20,7	21,3	22,7	19,4	19,4	20,9	18,5	16,7	20,4	21,4	17,8	15,7	15,5	15,0	14,5	14,4	14,6	15,3	13,2
Most	42,3	42,3	41,4	51,1	42,6	41,9	46,1	37,4	39,5	35,9	39,1	41,3	37,8	37,3	41,5	36,4	34,5	33,9	34,9	33,3
Rudolice v Horách	16,3	15,3	16,6	17,2	13,0	15,1	15,1	14,3	12,4	13,0	15,5	11,7	10,2	-	-	-	-	-	-	-

Obr. 17: Roční průměry koncentrace NO_x (východní část pánve).Tab. 14: Roční průměry koncentrace NO_x (východní část

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Krupka	23,8	21,7	22,2	22,6	21,0	19,0	23,2	19,6	20,3	17,9	18,1	18,2	16,0	-	-	-	-	-	-	-
Ústí n. L. - Kočkov	25,4	23,9	24,4	24,0	21,9	19,2	22,4	18,3	18,9	17,5	17,4	18,7	17,4	16,5	16,9	16,9	16,2	16,6	13,7	14,1
Litoměřice	29,8	27,1	-	-	26,8	25,9	29,1	24,7	27,4	26,9	27,3	27,1	25,5	23,6	25,2	-	-	-	-	-
Lom	-	-	-	-	-	20,0	22,4	17,8	18,8	18,7	19,0	18,1	16,3	17,5	17,9	16,1	16,0	15,7	15,3	14,2
Ústí n. L. - město	-	-	-	-	-	49,8	54,5	48,5	50,6	47,0	47,3	49,5	42,3	44,1	40,8	44,5	42,8	39,6	37,1	36,7
Teplice	54,4	55,1	55,8	59,1	55,8	57,4	66,3	47,7	-	28,2	28,3	31,1	28,3	-	-	-	-	-	-	-

Obr. 18: Roční průměry koncentrace O₃ (západní část pánve).Tab. 15: Roční průměry koncentrace O₃ (západní část pánve).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Tušimice	44,5	51,1	50,9	57,1	56,7	57,1	55,6	53,7	50,3	47,8	49,0	52,0	52,5	53,1	47,8	54,3	53,9	55,3	60,0	58,5
Most	45,4	41,6	46,2	45,9	50,0	48,0	48,0	47,8	44,6	43,8	46,3	44,0	45,6	42,5	39,4	48,1	44,9	47,5	52,8	52,0
Rudolice v Horách	44,5	51,1	50,9	57,1	56,7	57,1	55,6	53,7	50,3	47,8	49,0	52,0	52,5	53,1	47,8	54,3	53,9	55,3	60,0	58,5

Obr. 19: Roční průměry koncentrace O₃ (východní část pánve).

Tab. 16: Roční průměry koncentrace O₃ (východní část pánve).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Litoměřice	-	-	-	56,4	47,5	53,2	52,0	50,9	45,7	45,8	48,7	45,2	47,8	47,1	43,4	50,4	47,4	50,0	58,2	52,7
Lom	-	-	-	-	-	51,1	51,4	49,1	44,1	42,3	44,5	41,9	46,1	46,3	40,5	47,7	43,2	46,3	52,1	49,8
Ústí n. L. - město	-	-	-	-	-	38,3	39,6	38,3	36,3	34,7	38,6	36,5	40,4	35,8	35,4	40,6	37,0	40,1	48,6	48,3
Teplice	40,6	34,0	40,8	43,5	42,3	41,7	41,8	41,8	-	47,6	50,4	47,2	49,7	49,9	46,9	53,8	48,2	52,2	59,0	56,0
Ústí n. L. - Kočkov	56,4	50,6	56,0	62,0	62,0	67,8	62,2	57,5	52,0	50,4	53,1	51,7	57,8	57,5	54,5	60,6	57,1	58,4	70,4	67,3

6.2 Tabulkové a grafické zpracování vývoje koncentrací jednotlivých škodlivin

Dosažené výsledky jsou stručně vyhodnoceny v následujícím přehledu:

SO₂

Lze konstatovat výrazně snižující se trend. Chod koncentrací SO₂ na jednotlivých stanicích je velmi podobný. Imisní koncentrace jsou způsobeny především dálkovým přenosem (elektrárny) a ovlivněny i dalšími vlivy (hlavně klimatickými).

NO

Lze konstatovat lehce se snižující trend. Vyšší koncentrace na stanicích Ústí nad Labem - město, původní Teplice (UTEM) a Most jsou patrně ovlivněny komunikací s vyšším provozem dopravy. Ostatní vybrané stanice jsou umístěny mimo přímé ovlivnění blízkými zdroji znečištění.

NO_x

Lehce se snižující tendence je pozorována na všech vybraných stanicích obou oblastí (V i Z). Zobrazená průměrná koncentrace na stanicích v západní oblasti je po roce 2012 ovlivněna malým počtem stanic s velmi rozdílnými hladinami koncentrací.

NO₂

Na všech stanicích východní oblasti je zřetelný velmi podobný chod, jehož trend je klesající. Na stanicích v západní oblasti lze po r. 2014 (hlavně na stanici Tušimice) konstatovat velmi mírný nárůst. Vzhledem k nízkým koncentracím a rozptylu hodnot ($15 \pm 3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) nepovažujeme tento nárůst za významný.

O₃

Po krátkém sestupném trendu v letech 2005-2010 se roční koncentrace přízemního ozónu zvyšují. Tento trend je pozorován na všech stanicích, výrazněji se projevuje od roku 2016.

PM₁₀

Lze celkově konstatovat výrazně se snižující trend. Na stanicích ve východní oblasti pánve je tento jev více patrný než na stanicích v západní oblasti. Uplatňuje se zde patrně vliv dálkového přenosu (elektrárny). Chod ročních koncentrací na jednotlivých stanicích je velmi podobný. Zároveň mohou mít na výslednou koncentraci vliv i výrazné místní emisní zdroje. Jejich činností vznikají vysoké krátkodobé koncentrace. Pokud

tyto vysoké koncentrace nenastávají často, nejsou v ročním chodu patrné a objevují se jen v denním chodu koncentrace. Velký vliv na hodnotu koncentrace PM₁₀ mají i klimatické vlivy.

PM_{2,5}

I zde lze konstatovat snižující se trend. Pro jednoznačné vyhodnocení je však k dispozici zatím malý počet stanic a měření většinou probíhá jen krátkou dobu.

6 Závěr

Príspevek shrnuje zatím dosažené výsledky realizované VÚHU a.s. v rámci řešení evropského projektu TEXMIN, který se zabývá dopady změn klimatu na hornickou činnost a rekultivace.

V jednotlivých kapitolách článku stručně uvádí metodiku výzkumu, dlouhodobou historii vývoje klimatu v Evropě a České republice, shrnutí vývoje teplot a srážek v oblasti Mostecké pánve, včetně prognózy budoucího vývoje, a dopady tohoto vývoje na rekultivační práce. Zde jsou shrnuty hlavní současné problémy a navržena první jednoduchá adaptační opatření.

Největší pozornost je v článku věnována dlouhodobému vývoji koncentrací škodlivin v ovzduší v oblasti Mostecké pánve. Podle vyhodnocených údajů se koncentrace většiny látek znečišťujících ovzduší trochu překvapivě (z hlediska klimatické změny) postupně snižuje. Hlavním důvodem poklesu koncentrace jsou prováděná rozsáhlá ekologická opatření. U všech stanic byl zjištěn významný pokles koncentrací PM₁₀ a PM_{2,5}, což je způsobeno protiprašnými opatřeními realizovanými v povrchových dolech. Důležité je také odsíření elektráren a technická opatření provedená v jednotlivých průmyslových závodech. Rozsah těchto opatření pravděpodobně překrývá klimatické a další vlivy. Výjimkou je koncentrace ozónu, která v posledních letech roste. V tomto případě je pravděpodobnou příčinou postupné zvyšování teploty.

Pro výzkum byly použity všechny pracovní měřicí stanice v těžební oblasti Mostecké pánve.

Poděkování

Článek byl publikován s podporou výzkumného programu EU „The impact of EXtreme weather events on MINing operations“, č. projektu 847250 – TEXMIN - RFCS-2018.

Literatura

- [1] ONDRÁČEK, V., ŘEHOŘ, M., ŠAFÁŘOVÁ, M., LANG, T.: Historie, Gegenwart und Perspektiven der Rekultivierung auf dem Gebiet des Bergbaubetriebes Doly Bílina, Surface Mining - Braunkohle, 1: s. 90-100, SRN, ISSN 0931-3990, 2003.
- [2] ROJÍK, P.: Co vypovídají uloženiny sokolovské pánve o změnách klimatu? Zpravodaj Hnědé uhlí, č. 3/2008, s. 16-25, Most, 2008, ISSN 1213-1660.
- [3] ŘEHOŘ, M.: Rekultivace krajiny postižené těžbou hnědého uhlí se zaměřením na tvorbu antropogenních půdních profilů, Disertační práce doktorského studia, Ostrava, 2007.
- [4] ŘEHOŘ, M., SCHMIDT, P.: Aktuální pedologická problematika rekultivovaných lokalit oblasti Severočeských dolů a.s., Zpravodaj Hnědé uhlí, 2/2020, s. 18-25, Most, 2020, ISSN 1213-1660.
- [5] ŘEHOŘ, M., ŽIŽKA, L., NOVÁK, V., SCHMIDT, P., FRAŠTIA, M.: Příspěvek k diskusi o zakládání ploch ponechaných přirozené sukcesi v podmínkách mostecké pánve, Zpravodaj Hnědé uhlí, 2/2017, s. 15-24, Most, 2017, ISSN 1213-1660.
- [6] ŘEHOŘ, M.; JAROLIMOVÁ, M.; ŽIŽKA, L.; VRÁBLÍK, P.; VRÁBLÍKOVÁ, J.: The Results of the Long-Term Research on the Development of Anthropomorphic Soil in the Reclaimed and Successive Areas of the Most Basin in Czech Republic. Journal of Mining Science, 53(4), 778-788, DOI 10.1134/S1062739117042777, 2018, ISSN 1573-8736.
- [7] SCHMID, P., ŘEHOŘ, M., VRÁBLÍK, P.: Klimatické změny v regionu SZ Čech a jejich předpokládaný vliv na hornickou činnost a rekultivační práce, Zpravodaj Hnědé uhlí, č. 4/2020, s. 22-31, Most, 2008, ISSN 1213-1660.
- [8] SVOBODA, J., VAŠKŮ, Z., CÍLEK, V.: Velká kniha o klimatu Zemí koruny české. Nakl. REGIA, 2003.
- [9] VRÁBLÍKOVÁ, J. a kol: Metodika ochrany půdy tvorbou a udržováním trvalých travních porostů a optimalizace rekultivačních postupů v antropogenně zatížené krajině regionu Podkrušnohoří. Metodika, VÚHU a.s., UJEP, 2018.
- [10] Zkušební laboratoř č. 1078: Interní metodické předpisy ZL VÚHU a.s. Most, IMP zkušební laboratoř.