

Klimatické změny v regionu SZ Čech a jejich předpokládaný vliv na hornickou činnost a rekultivační práce

Ing. Pavel Schmidt¹, RNDr. Michal Řehoř, Ph.D.¹, doc. ing. Petr Vráblík, Ph.D.²

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

²Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem

Přijato: 26. 10. 2020, recenzováno: 2. a 4. 11. 2020

Abstrakt

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s. v současnosti realizuje v rámci výzkumného projektu Evropské unie s názvem TEXMIN dlouhodobý výzkum vývoje klimatu České republiky a jeho dopadů na hornickou činnost. Výzkum se zabývá celkovým hodnocením klimatické změny v České republice a hlavní pozornost je věnována oblasti Mostecké pánve, která je známá jako největší české ložisko hnědého uhlí. Článek shrnuje zatím dosažené výsledky. Jde zejména o vyhodnocení vývoje teploty a srážek od roku 1961, jejich prognóza do budoucna a posouzení vlivu těchto změn na hornickou činnost, včetně rekultivací.

Climate change in the region of NW Bohemia and their expected impact on mining activities and reclamation work

The Brown Coal Research Institute, plc. is currently carrying out a long-term research into the development of the climate of the Czech Republic and its impact on mining activities as part of a European Union research project called TEXMIN. The topic of the research is the overall evaluation of the climatic change in the Czech Republic and main attention is devoted to the Most Basin. It is known as the largest Czech brown coal deposit. The article summarizes the results achieved so far. It is primarily an evaluation of the development of temperature and precipitation since 1961, their forecast for the future and an assessment of the impact of these changes on mining activities, including reclamation.

Klimatische Änderungen in der Region Nordwestböhmen und ihre vorausgesetzte Wirkung auf die Bergbautätigkeiten und Rekultivierungsarbeiten

Das Braunkohleforschungsinstitut AG führt gegenwärtig im Rahmen des Forschungsprojektes der Europäischen Union unter dem Namen TEXMIN eine langfristige Forschung der Klimaentwicklung in der Tschechischen Republik und deren Wirkung auf die Bergbautätigkeit durch. Die Forschung befasst sich mit der Gesamtbewertung der Klimaänderung und dabei ist dem Gebiet des Moster Beckens die Hauptaufmerksamkeit gewidmet, der als die größte böhmische Braunkohlelagerstätte bekannt ist. Der Artikel fasst die bislang erreichten Ergebnisse zusammen. Es geht insbesondere um die Auswertung der Temperatur- und Niederschlagsentwicklung seit dem Jahr 1961, deren Prognose in die Zukunft und um die Beurteilung des Einflusses dieser Änderungen auf die Bergbautätigkeit, einschl. Rekultivierungen.

Klíčová slova: klimatická změna, teplota, srážky, hornická činnost.

Keywords: climatic change, temperature, precipitations, mining activities.

1 Úvod

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s. (VÚHU a.s.) zahájil ve druhém pololetí 2019 řešení výzkumného projektu spolufinancovaného z Fondu pro uhlí a ocel EU s názvem „*The impact of EXtreme weather events on MINing operations*“. Projekt je zaměřen na hodnocení dopadu klimatických změn na hornickou činnost ve významných evropských uhelných pánvích, VÚHU a.s. se vzhledem k jejímu významu zaměřil na oblast Mostecké pánve.

Trend klimatických změn v České republice probíhá v kontextu změny klimatu v Evropě. Česká republika se nachází ve střední Evropě. Poloha evropského kontinentu je hlavní příčinou významné regionální proměnlivosti klimatu. Vzhledem k tomu, že v Evropě existuje mimořádně hustá síť dlouhodobých měřicích stanic, jsou analýzy trendů změn (snad s výjimkou Severní Ameriky) výrazně přesnější než kdekoli jinde na planetě. Teplota evropského kontinentu se za poslední století zvýšila v průměru o 1,2 °C, z toho 0,45 °C za poslední tři

desetiletí. Zatímco průměrný růstový trend v celé Evropě se v minulém století pohyboval kolem 0,1 °C/10 let, za posledních 30 let se více než zdvojnásobil. Vzhledem k tomu, že teplota nad pevninou stoupá rychleji než nad okolním oceánem, existují často významné regionální rozdíly v teplotních změnách i v Evropě. Na základě analýzy teplotních odchylek od průměru lze konstatovat, že jižní Evropa se otepluje relativně nejpomaleji, více střední Evropa včetně České republiky a nejrychlejší změny se objevují v severní části kontinentu.

V tomto příspěvku je shrnut vývoj teploty a srážek v letech 1961-2019, prognóza jejich dalšího vývoje pro Českou republiku se zaměřením na region Mostecké pánve a možné dopady klimatických změn na hornickou činnost.

2 Metodika výzkumu

Pro hodnocení vývoje teplot a srážek v období 1961-2019 byla využita dostupná data Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), regionálních meteorologických stanic Kopisty, Mi-

lešovka a Ústí nad Labem - Kočkov, data těžebních společností a vlastní data VÚHU a.s. Data z jednotlivých zdrojů nevykazují statisticky významné odchylky.

Metodicky náročnější je prognózování dalšího vývoje teploty a srážek. Výstupy regionálního klimatického modelu ALADIN-CLIMATE/CZ, řízeného globálním modelem ARPEGE a provozovaného v ČHMÚ, lze využít k odhadu dalšího vývoje klimatu v České republice a přímo v těžební oblasti severozápadních Čech. Model je založen na numerickém predikčním modelu pro omezenou oblast, který provádí výpočet klimatických charakteristik pro konkrétní oblast, v tomto případě pro střední Evropu. Jeho hlavní výhodou je schopnost simulovat klima s mnohem lepším prostorovým rozlišením, než jakého jsou globální modely (GCM) schopné. Zatímco GCM nyní běžně pracují s rozlišením 200–300 km, RCM ALADIN-CLIMATE/CZ prokázal schopnost simulovat klimatické vlastnosti v dostatečné kvalitě s rozlišením 10–25 km, což je obzvláště důležité v podmínkách České republiky. Určitou nevýhodou je nemožnost zachytit s dostatečnou přesností vliv menších horských oblastí (Krušné hory).

Aktualizované regionální scénáře pro Českou republiku s pravděpodobným výhledem na změny v období kolem let 2030, 2050 a 2100 jsou základním podkladem pro následné studie

dopadů změny klimatu v celostátním měřítku, včetně hornického regionu. Scénáře nezvažují přirozené výkyvy klimatu, vlivy přirozené a antropogenní variability klimatu mohou být vzájemně kompenzovány nebo se mohou doplňovat. Výstupy regionálních modelů pro území České republiky jsou zatíženy vyšším stupněm nejistoty než výstupy modelů pro území evropského kontinentu, případně celé planety. Projekce režimu srážek vykazují významně vyšší stupeň nejistoty ve srovnání s podobnou teplotní projekcí.

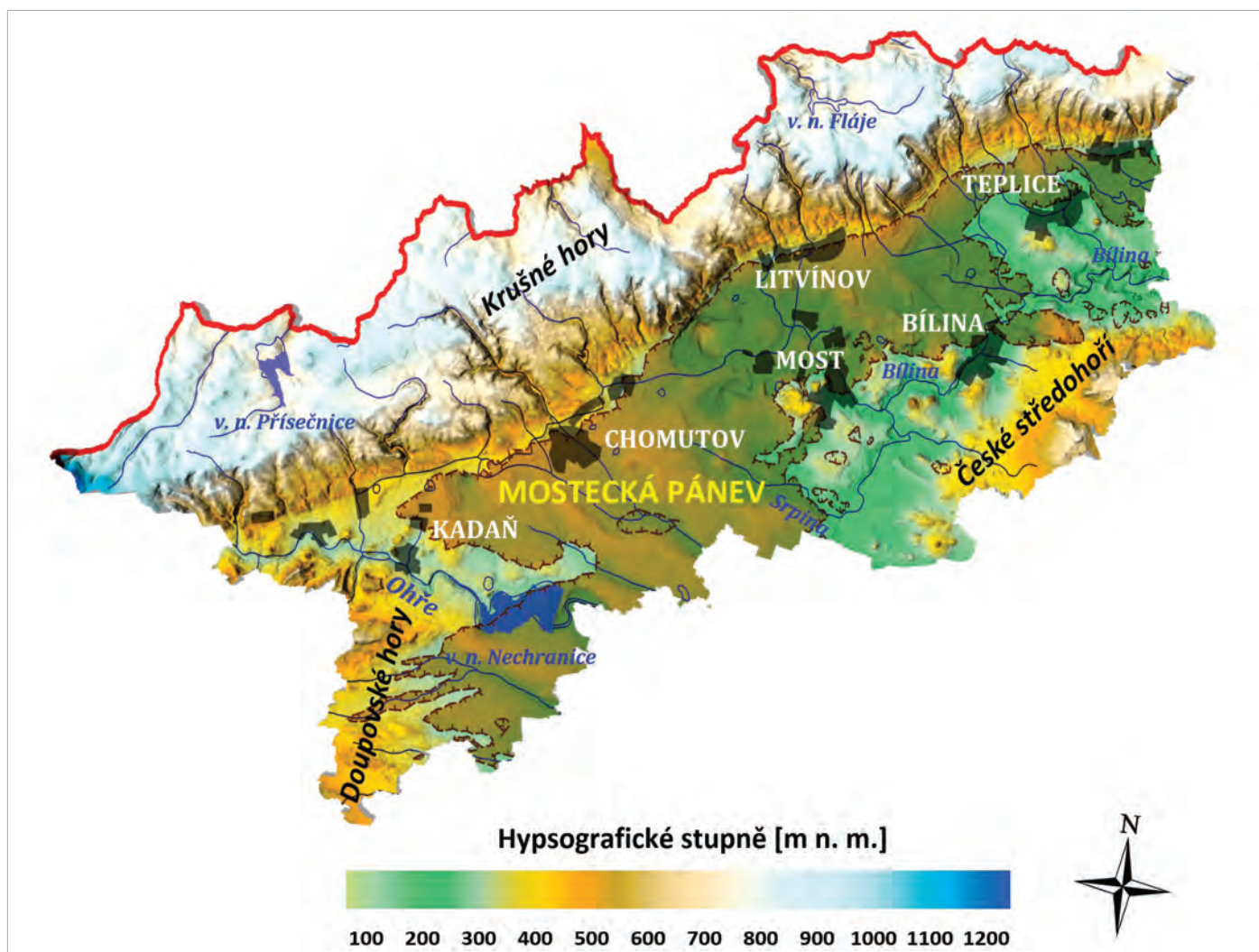
U dalších hodnocených veličin (směr a síla větru, atmosférický tlak) nebyly zjištěny žádné vyhodnotitelné trendy.

3 Historie a prognóza budoucího vývoje změn teploty

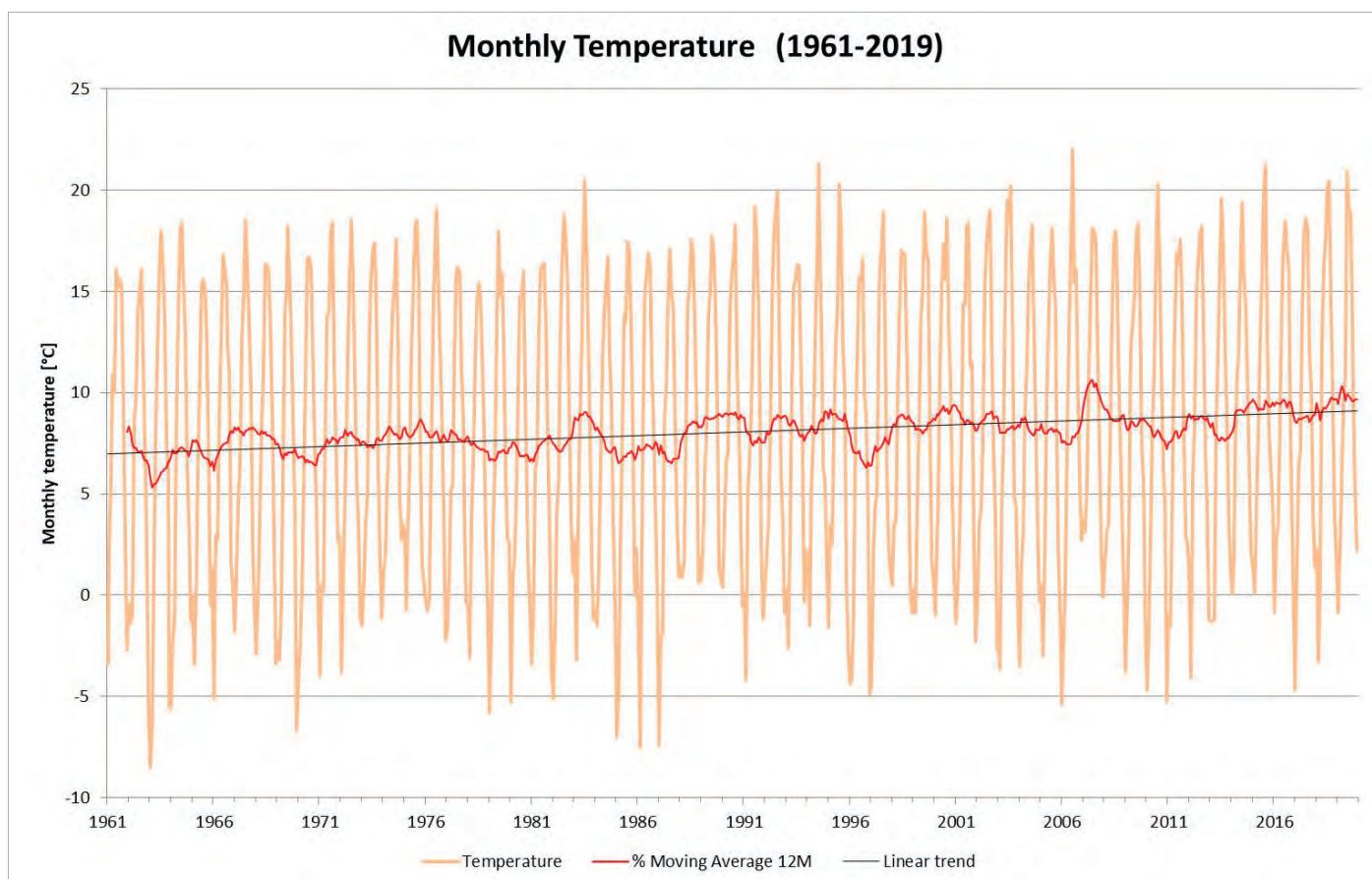
V této kapitole je shrnutý vývoj teploty v letech 1961-2019 a prognóza jejího vývoje do roku 2100. Souhrn je platný pro Českou republiku, přičemž důraz je kladen na oblast Mostecké pánve.

3.1 Vývoj teplot v období 1961-2019 v České republice a v oblasti Mostecké pánve

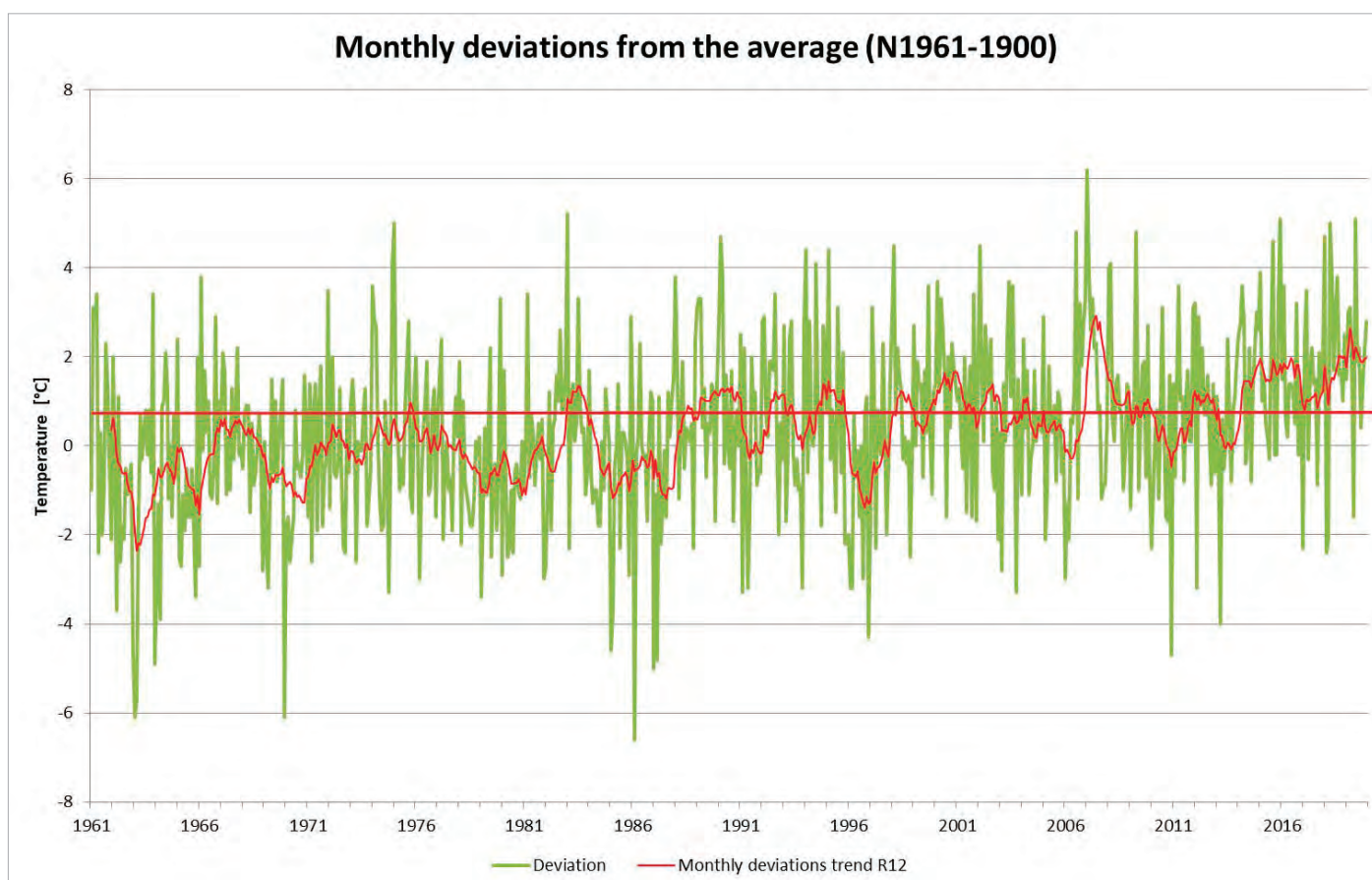
Oblast Mostecké pánve se nachází se v regionu severozápadních Čech. Hlavními těžebními společnostmi jsou Severočeské



Obr 1: Situace širší oblasti Mostecké pánve.



Obr. 2: Nárůst průměrné teploty v období 1961-2019. [2]



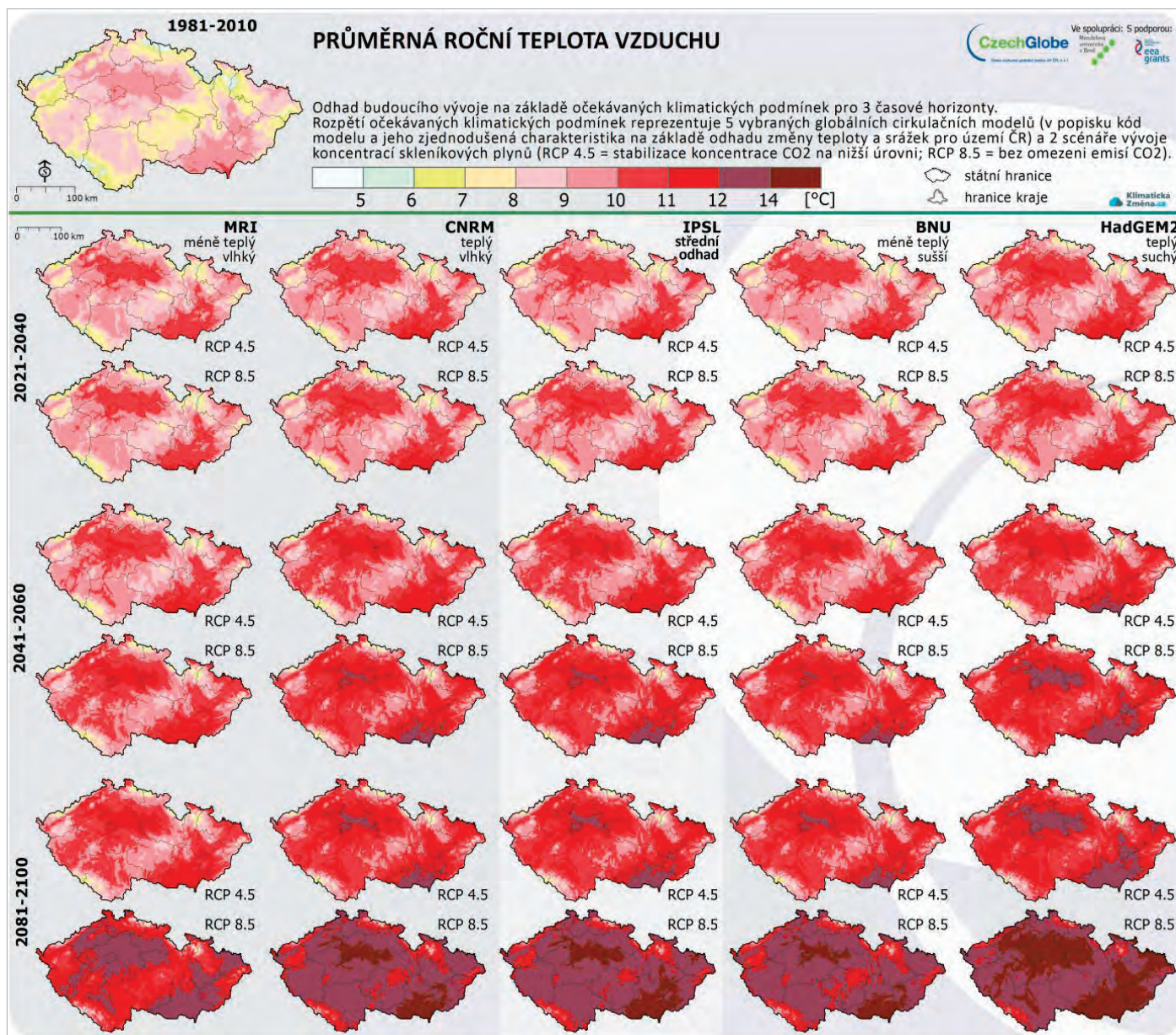
Obr. 3: Měsíční odchylky od teplotního průměru v období 1961-2019. [2]

Tab. 1: Sezónní změny průměrné teploty (°C) do roku 2030 v oblasti Mostecké pánve ve srovnání s obdobím 1961–1990 podle simulace RCM ALADIN-CLIMATE / CZ pro scénář A1B.

	Jaro	Léto	Podzim	Zima	Rok
Minimum	0,8	0,7	0,9	0,8	0,8
10% kvantil	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9
25% kvantil	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0
Medián	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1
75% kvantil	1,3	1,2	1,3	1,2	1,2
90% kvantil	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3
Maximum	1,7	1,6	1,5	1,5	1,6

doly a.s. a Seven group a.s. Hlavními dobývanými lokalitami jsou lomy Bílina, Libouš, Vršany a ČSA (zde již skončila těžba skrývky). Oblast Mostecké pánve (viz obrázek č. 1) je obecně známá jako suchá a poměrně teplá část České republiky.

V rámci řešení projektu TEXMIN byl jako východisko pro teplotní hodnocení všech zájmových evropských lokalit zvolen rok 1961. Důvodem byla potřeba sjednocení metodiky měření všech řešitelských organizací. Vývoj teploty dokumentují grafy na obrázcích č. 2 a 3.



Obr. 4: Vývoj průměrné roční teploty vzduchu v závislosti na emisním scénáři RCP podle uvedených globálních modelů do roku 2100. [6]

Tab. 2: Vývoj průměrné teploty v oblasti Mostecké pánve pro jednotlivé klimatické modely (Met – Stanice Kočkov, Ústí nad Labem).

Roky	Emisní scénář	Klimatický model				
		MRI	CNRM	IPSL	BNU	HadGEM2
1991-2010	-	9,8				
2021-2040	RCP 4.5	10,2	10,5	10,5	10,5	10,6
	RCP 8.5	10,4	10,7	10,8	10,8	10,9
2041-2060	RCP 4.5	10,5	11,0	11,6	11,5	11,6
	RCP 8.5	11,0	11,4	11,9	11,8	12,0
2081-2100	RCP 4.5	11,1	11,9	12,6	12,5	13,0
	RCP 8.5	12,0	12,7	13,2	13,1	13,5

V případě teploty lze v hodnoceném období konstatovat jednoznačný nárůst teploty v České republice i v konkrétní oblasti Mostecké pánve. Hodnocení jeho příčin není předmětem tohoto výzkumu.

3.2 Prognóza vývoje teplot do roku 2030 a 2100 v České republice a v oblasti Mostecké pánve

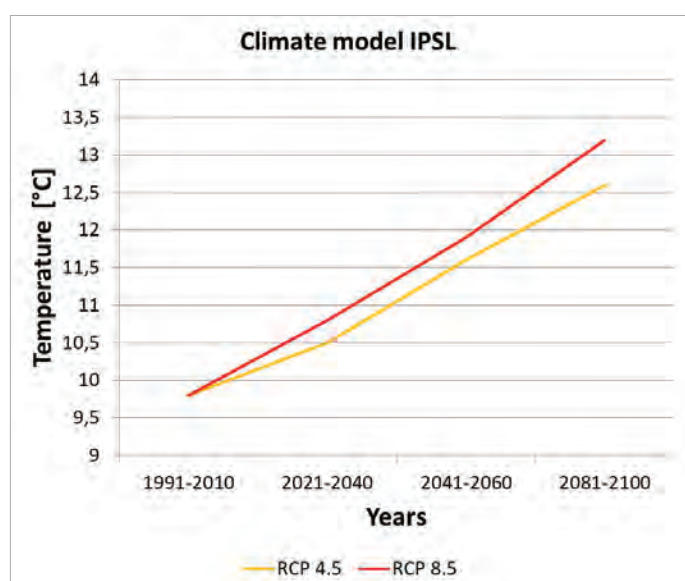
Model pro vývoj teploty do roku 2030

Výsledky simulací s modelem ALADIN-CLIMATE/CZ naznačují, že průměrné teploty se do roku 2030 mohou ve srovnání s obdobím 1961-1990 zvýšit o hodnoty uvedené v tabulce 1.

Trend pozorovaného nárůstu průměrných ročních teplot (0,24 °C/10 let) odpovídá globálním hodnotám i hodnotám vykázaným v Evropě (0,2 °C/10 let). Stejně jako změny průměrných teplot se pravděpodobně změní maximální a minimální teploty. Na základě porovnání modelových teplotních trendů se současnými lze očekávat, že do konce třetí dekády tohoto století budou teploty spíše na úrovni vyšších kvantilů.

Model pro vývoj teploty do roku 2100

Klimatické modely se shodují na tom, že teploty vzduchu budou i nadále stoupat v závislosti na emisním scénáři RCP



Obr. 5: Vývoj průměrné teploty v oblasti Mostecké pánve do roku 2100.

(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). Do roku 2050 bude růst teploty stejný bez ohledu na vliv emisního scénáře, ale vývoj ve druhé polovině století již na daném emisním scénáři závisí. 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 Českou republiku je ukázána na obrázku č. 4.

Pro oblast Mostecké pánve (SZ Čechy) byly pro jednotlivé klimatické modely odvozeny následující průměrné teplotní hodnoty (viz tabulka č. 2). Graf na obrázku č. 5 vychází z modelu IPSL.

4 Historie a prognóza budoucího vývoje změn srážek

V této kapitole je shrnutý vývoj srážek v letech 1961-2019 a prognóza jejich vývoje do roku 2100. Souhrn je platný pro Českou republiku, přičemž důraz je kladen na oblast Mostecké pánve.

4.1 Vývoj srážek v období 1961-2019 v České republice a v oblasti Mostecké pánve

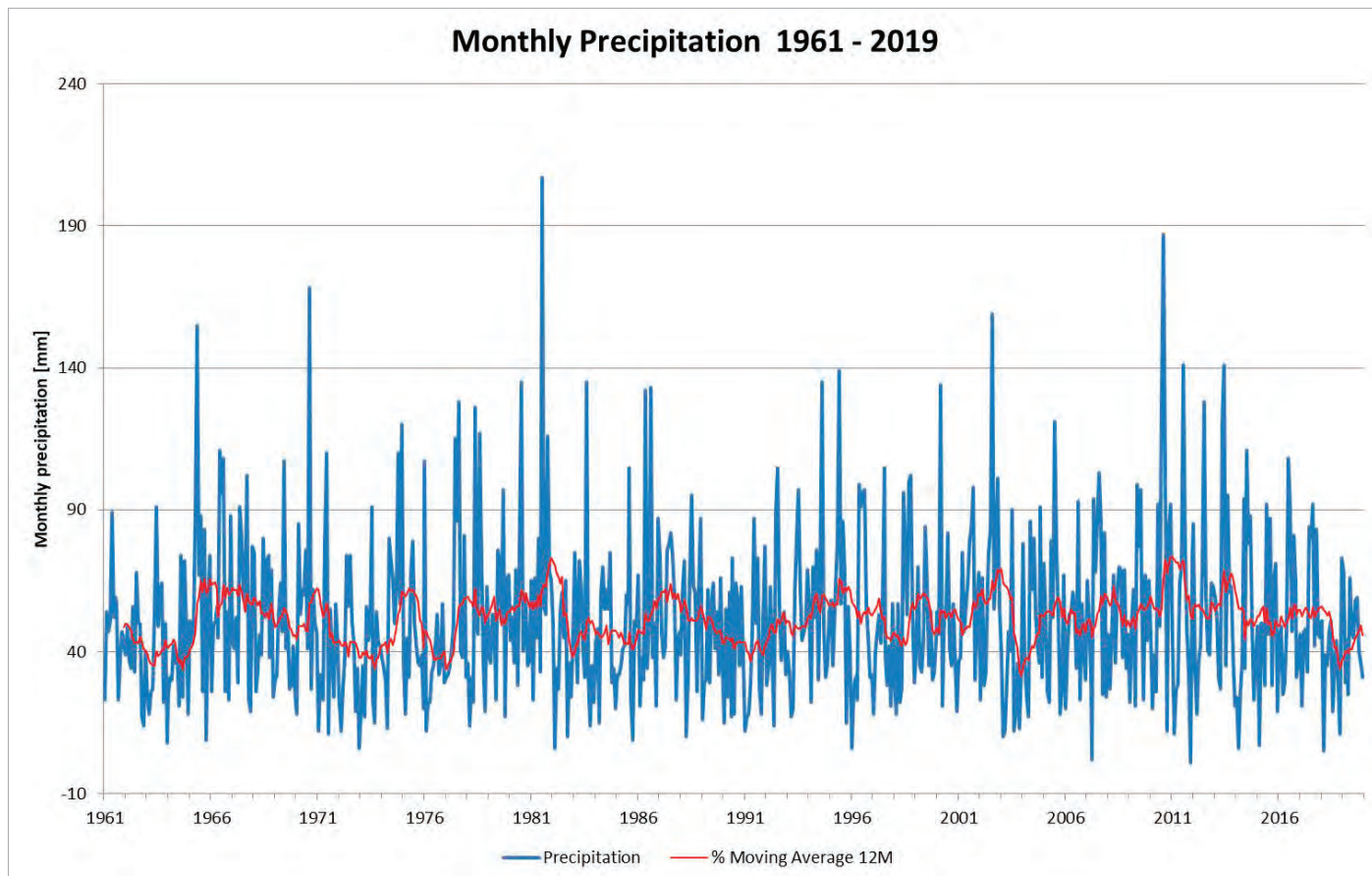
Širší okolí Mostecké pánve ve srážkovém stínu Krušných hor je bez ohledu na klimatickou změnu známé jako suchá oblast v rámci České republiky. V rámci řešení projektu TEXMIN byl podobně jako v případě teploty zvolen jako východisko pro hodnocení všech zájmových evropských lokalit rok 1961. Vývoj srážek dokumentují grafy na obrázcích č. 6 a 7.

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 (viz obrázky č. 6-7). Tento fakt pochopitelně komplikuje prognózu dalšího vývoje.

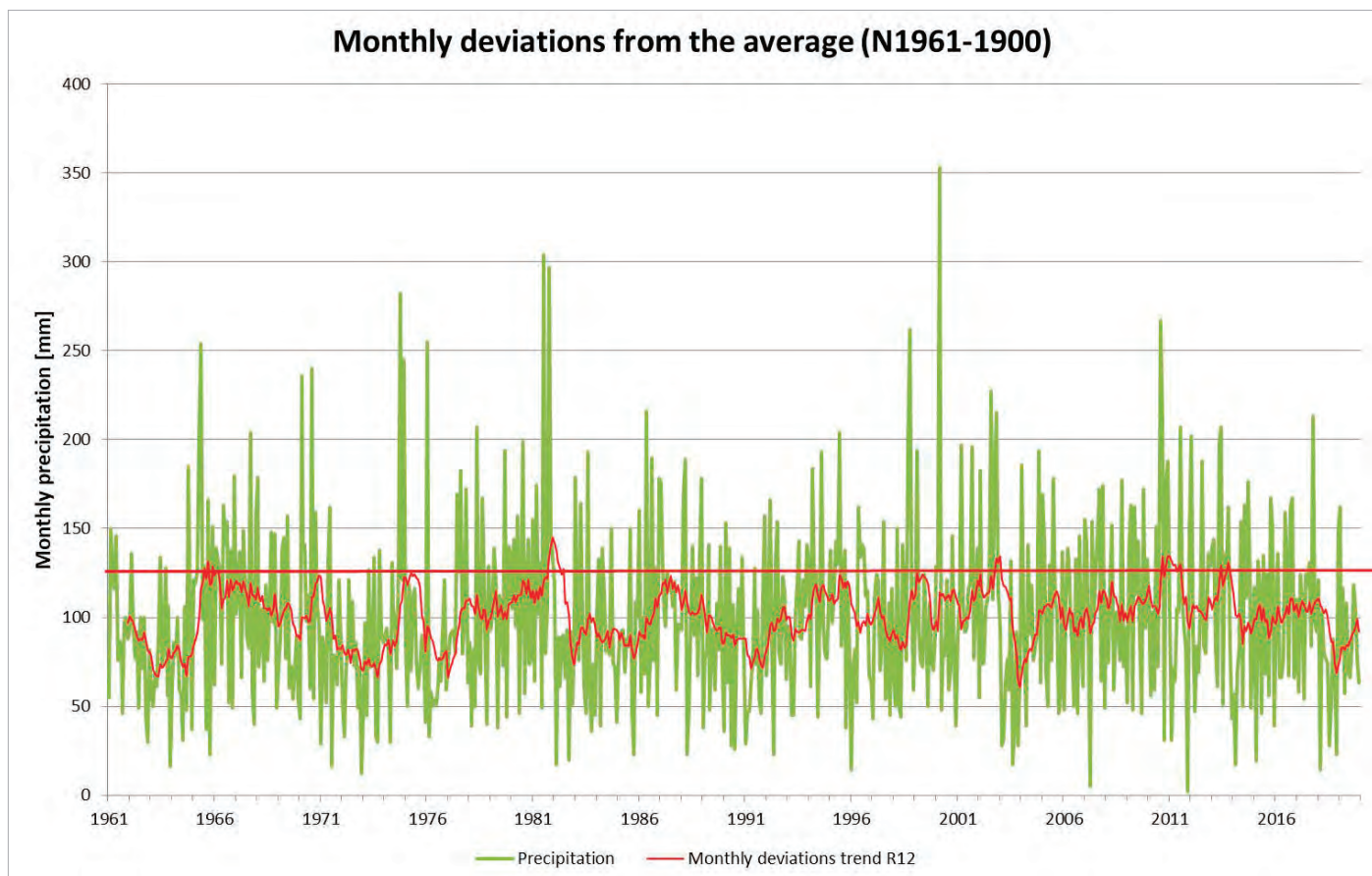
4.2 Prognóza vývoje srážek do roku 2030 a 2100 v České republice a v oblasti Mostecké pánve

Model pro vývoj srážek do roku 2030

Výsledky simulací s modelem ALADIN-CLIMATE/CZ naznačují možnost mírného zvýšení ročních souhrnů srážek (v průměru o 4 %) ve srovnání s obdobím 1961-1990 (vyšší v zimě a na jaře, nižší v létě i na podzim). Rozsahy mezi kvantilovými



Obr. 6: Průměrné srážky v období 1961-2019. [2]



Obr. 7: Měsíční odchylky od srážkového průměru v období 1961-2019. [2]

Tab. 3: Sezónní změny v úhrnech srážek do roku 2030 ve srovnání s obdobím 1961-1990 podle simulace RCM ALADIN-CLIMATE/CZ.

	Jaro	Léto	Podzim	Zima	Rok
Minimum	0,94	0,84	0,83	0,72	0,83
10% kvantil	1,02	0,92	0,95	0,82	0,93
25% kvantil	1,07	0,96	1,00	0,87	0,98
Medián	1,12	1,03	1,08	0,92	1,04
75% kvantil	1,17	1,10	1,13	0,97	1,09
90% kvantil	1,24	1,17	1,25	1,01	1,17
Maximum	1,34	1,31	1,44	1,08	1,29

Tab. 4: Vývoj průměrných srážek v oblasti Mostecké pánve pro jednotlivé klimatické modely (Met – Stanice Kočkov, Ústí nad Labem).

Roky	Emisní scénář	Klimatický model				
		MRI	CNRM	IPSL	BNU	HadGEM2
1991-2010	-	636				
2021-2040	RCP 4.5	648	652	638	635	630
	RCP 8.5	650	658	630	628	625
2041-2060	RCP 4.5	661	669	625	620	622
	RCP 8.5	668	684	630	618	615
2081-2100	RCP 4.5	675	690	610	607	600
	RCP 8.5	689	706	605	601	595

hodnotami ukazují na předpoklad významné variability průměrných úhrnů srážek. Prognózované hodnoty (viz tabulka 3) signalizují riziko zvýšení deficitu vlhkosti půdy ve druhé polovině jara a v létě, s přihlédnutím ke zvýšenému odparu vlivem vyšších teplot.

Hodnocení prognózovaných údajů naznačuje, že shoda simulací s výsledky stávajících pozorování je u srážek výrazně nižší. Spíše lze očekávat, že celkové úhrny srážek budou nižší, ale pravděpodobnost zvýšení zimních srážek je vysoká.

Model pro vývoj srážek do roku 2100

Pro prognózu vývoje srážek do konce století byly využity obdobné modely jako v případě hodnocení teplot. I v tomto případě byly použity emisní scénáře RCP 4.5 (předpoklad mírného snížení množství CO₂ ve vzduchu) a RCP 8.5 (nepředpokládá žádnou změnu koncentrace CO₂).

Modelování vývoje srážek je podstatně obtížnější než modelování teploty. Proto může být výsledek zatížen značnou chybou. Situace průměrných ročních srážek v závislosti na emisním scénáři pro Českou republiku je ukázána na obrázku č. 8.

Pro oblast Mostecké pánve (SZ Čechy) byly pro jednotlivé klimatické modely odvozeny následující průměrné hodnoty srážek (viz tabulka 4).

5 Dopady klimatických změn na hornickou činnost a rekultivace

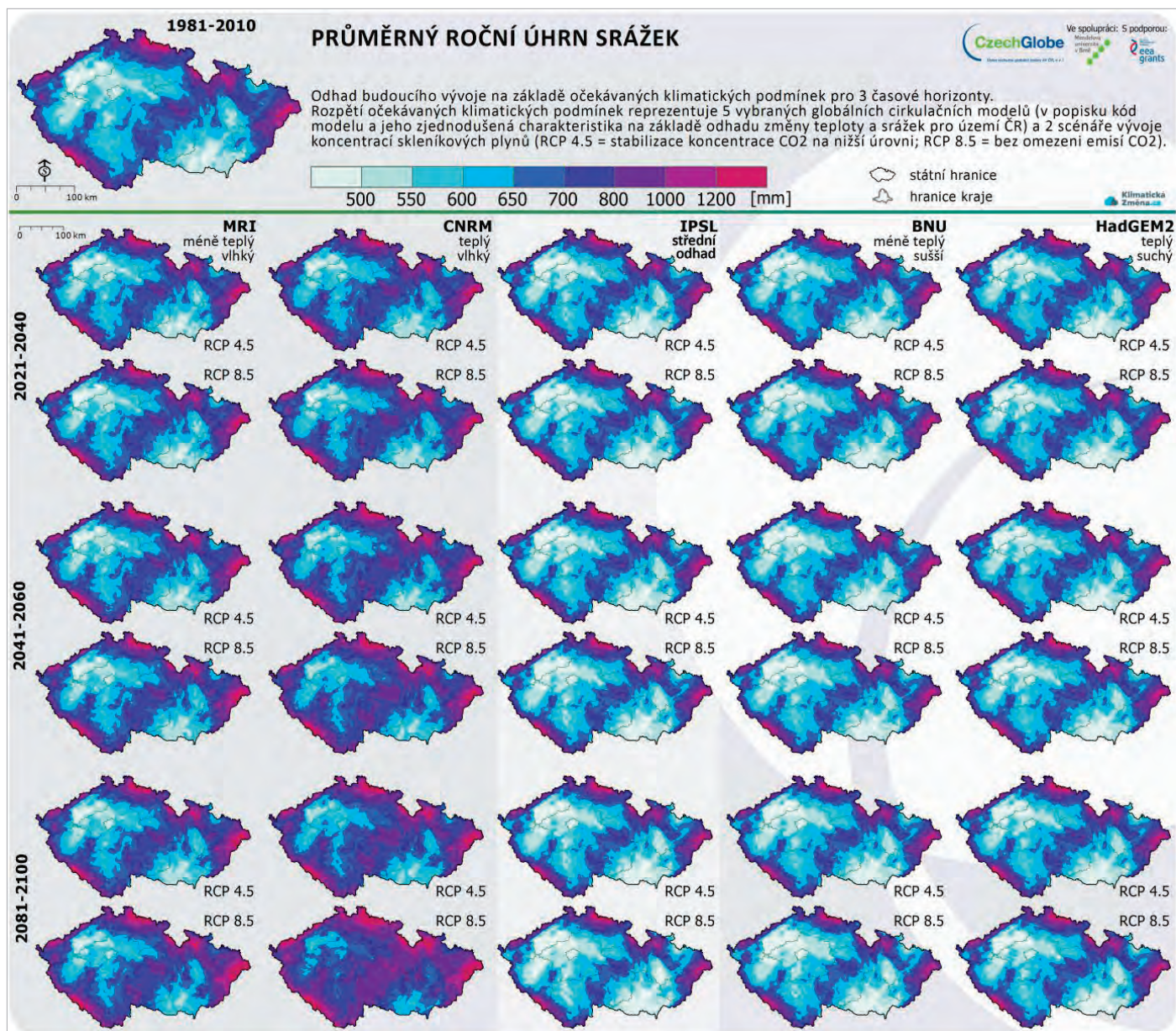
Oblast Mostecké pánve je známá jako ložisko hnědého uhlí a její širší okolí je velmi významným průmyslovým regionem. Celkově jde o suchou a teplou oblast v rámci České republiky, skutečně extrémní škody ovlivněné klimatem zde

v hodnoceném období nebyly zaznamenány. Cílem příspěvku je posoudit vliv klimatických změn na hornickou činnost a rekultivace.

Z hlediska vlastní těžební činnosti je doložené zvyšování teploty a pravděpodobný výskyt suchých period z hlediska nákladů a bezpečnosti práce spíše příznivé. Pro těžební činnost jsou rizikové spíše přívalem srážky, širší oblast Mostecké pánve je vzhledem ke geologické situaci značně náchylná k erozi a skluzům. Výjimkou je pouze nutnost realizace protiprašných opatření v suchých obdobích, které představují personální a finanční náklady, včetně nutnosti zajištění dostatku vody. Zcela jiná je situace v oblasti rekultivačních prací. Suchá perioda let 2015-2019 s extrémně suchým rokem 2018 způsobila velké škody především na lesnických rekultivacích, na řadě lokalit je vliv sucha na úhyn sazenic dobře doložený. V tomto případě již byla autory příspěvku pro exponované plochy navržena některá jednoduchá opatření, která mohou částečně omezit úhyn sazenic [5].

Klimatická změna může mít pravděpodobně negativní vliv na řadu dalších oblastí jako jsou zemědělství, lesnictví, vodní režim, biodiverzita [3] a zdraví; tyto aspekty však přesahují rozsah článku. Významnější negativní jevy spojené alespoň částečně s klimatem v období 2000 - 2019 shrnuje následující přehled.

- Výjimečné srážky na počátku srpna 2002 byly zdrojem záplav na velkých územích České republiky, především v jižní, západní, střední a severní části Čech. Povodeň způsobila škody přesahující 70 miliard korun, zemřelo 17 lidí. Škody v rámci hornické činnosti byly značné.
- Velmi nebezpečný sesuv zeminy byl znovu aktivován v průběhu ledna 2011. Sesuvná plocha se nacházela ve



Obr. 8: Vývoj průměrných ročních srážek v závislosti na emisním scénáři RCP podle uvedených globálních modelů do roku 2100. [6]

svahu lomu ČSA na úpatí Krušných hor [1]. Hlavním důvodem této události byla kombinace geologické situace a zvýšených srážek.

- Katastrofální sesuv zeminy se odehrál v červenci 2013 na svazích Českého Středohoří u obce Dobkovičky. Byla zničena část dálnice D8 a místní železnice (viz obrázek č. 9). Hlavním důvodem této události byla kombinace velmi nebezpečné geologické situace a extrémních srážek, které způsobily povodně v SZ Čechách. Dalším faktorem mohlo být zatížení svahu lavicí šterku kame-nolomu nad odlučnou oblastí sesuvu. Škody přesáhly miliardu korun.
- Suchá perioda let 2015-2019, s obdobím extrémního sucha v květnu až listopadu 2018, způsobila velké škody v českém zemědělství a také při lesnické rekultivaci oblastí po těžbě hnědého uhlí (viz obrázek č. 10).

6 Závěr

Tento příspěvek se pokusil o shrnutí vývoje teploty a srážek v období 1961-2019 a o prognózu vývoje těchto veličin do roku 2030 a do konce století. U teploty lze v celku jednoznačně prokázat její postupný nárůst. V případě srážek je prognóza mnohem složitější, s určitou pravděpodobností však lze očekávat přibývání suchých period.

Tyto vývojové trendy klimatických charakteristik jsou s výjimkou protiprašných opatření z hlediska nákladů a bezpečnosti práce příznivé pro vlastní těžební činnost, kterou spíše ohrožují extrémní srážky, případně kombinace sucha a přivalových dešťů. Velmi nepříznivý je však tento trend pro rekultivace, zejména lesnické. Hlavními důvody jsou především vysoká úroveň úhynu sazenic a pravděpodobná budoucí potřeba velmi nákladných radikálních změn v metodice technické a biologické rekultivace.



Obr. 9: Rozsáhlý skluz v oblasti dálnice D8 (rok 2013). [4]



Obr. 10: Situace lesnické rekultivace v suchém období roku 2018. (Foto: M. Řehoř)

Klimatická změna může mít pravděpodobně vedle rekultivační negativní vliv na řadu dalších oblastí jako jsou zemědělství, lesnictví, vodní režim, biodiverzita a zdravotní stav obyvatel. Ve všech těchto oblastech bude potřebná realizace postupných adaptačních opatření.

Poděkování

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

Literatura

- [1] BURDA, J., HARTVICH, F., VALENTA, J.: *Climate – induced landslide reactivation in the edge of the Most Basin (Czech Republic) – progress towards better landslide prediction*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 13, 361-37, 4, 2013, doi:10./nhess-13-361-2013519.
- [2] SCHMIDT, P., ŘEHOŘ, M.: *Development of climate projection for regions (Czechia) TEXMIN research report*, Task 1.3, 2020.
- [3] 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.
- [4] ŘEHOŘ, M., SCHMIDT, P.: *Establishment of baseline climatic conditions in Czech mining region TEXMIN research report*, Task 1.2, 2020
- [5] ŘEHOŘ, M., SCHMIDT, P.: *Aktuální pedologická problematika rekultivovaných lokalit oblasti Severočeských dolů a.s.*, Zpravodaj Hnědé uhlí, 2/2020, s. 18-25, ISSN 1213-1660, VÚHU a.s., Most
- [6] Změna klimatu v ČR. <http://portal.chmi.cz/> [online]. Praha: ČHMÚ, 2011 [cit. 2020-05-10]. http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap10.pdf