

Shrnutí řešení a hlavní výstup mezinárodního projektu TEXMIN

Summary of solutions and main output of the international TEXMIN project / Zusammenfassung der Lösung und die wichtigsten Ergebnisse des internationalen TEXMIN-Projekts

ING. PAVEL SCHMIDT, RNDR. MICHAL ŘEHOŘ, PH.D.

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most

Přijato: 30. 1. 2023, recenzováno: 24. 2 a 3. 3. 2023

ABSTRAKT

Příspěvek přibližuje hlavní náplň ukončeného mezinárodního výzkumného projektu s názvem „The impact of extreme weather events on mining operations“ (TEXMIN), který byl spolufinancován z Výzkumného fondu pro uhlí a ocel EU a na kterém se řešitelsky podílel rovněž Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s. Cílem projektu bylo poskytnout zúčastněným stranám a dalším případným subjektům zabývajícím se problematikou těžebních nebo posttěžebních činností návod na řešení dlouhodobých i náhlých dopadů na provozované, uzavřené a opuštěné uhelné doly, lomy a výsypky způsobené změnou klimatu a extrémními povětrnostními jevy.

The paper presents the main content of the completed international research project entitled "The impact of extreme weather events on mining operations" (TEXMIN), which was co-financed by the EU Coal and Steel Research Fund and in which the Brown Coal Research Institute a.s. also took part as a researcher. The aim of the project was to provide project partners and stakeholders dealing with the issue of mining or post-mining activities with guidance on how to deal with long-term and sudden impacts on operating, closed and abandoned coal mines, quarries and spoil heaps caused by climate change and extreme weather events.

Der Beitrag stellt den Hauptinhalt des abgeschlossenen internationalen Forschungsprojekts mit dem Titel "Auswirkungen extremer Wetterereignisse auf den Bergbaubetrieb – The impact of extreme weather events on mining operations" (TEXMIN) vor, das vom EU-Forschungsfonds für Kohle und Stahl mitfinanziert wurde und an dem sich auch das Forschungsinstitut für Braunkohle (Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a. s.) als Forscher beteiligte. Ziel des Projekts war es, den beteiligten Parteien und anderen potenziellen Interessenvertretern, die an Bergbau- oder Nachbergbautätigkeiten beteiligt sind, Leitlinien für den Umgang mit langfristigen und plötzlichen Auswirkungen auf in Betrieb befindliche, stillgelegte und aufgegebene Kohlebergwerke, Kohlebrüche und Abraumhalden zu geben, die durch den Klimawandel und extreme Wetterereignisse verursacht werden.

Klíčová slova: mezinárodní výzkum - klimatická změna - dobývání - rekultivace
Keywords: International research - climate change - mining - restoration

1 | ÚVOD

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s. se jako jeden z projektových partnerů podílel na řešení tříletého mezinárodního výzkumného projektu s názvem „The impact of EXtreme weather events on MINing operations“, který byl spolufinancován z Výzkumného fondu pro uhlí a ocel EU (RFCS). Vlastní projekt byl rovněž veden pod zkratkou TEXMIN a překlad názvu projektu pak znamená „Vliv extrémních povětrnostních jevů na těžební operace“. Na řešení výzkumného projektu se podílelo mezioborové konsorcium devíti institucí ze šesti evropských zemí, a to vědecké týmy z Polska, Velké Británie, Německa, Španělska, Řecka a České republiky. Hlavní práce probíhaly v letech 2019 až 2022.

2 | HLAVNÍ CÍLE PROJEKTU

Cílem projektu bylo poskytnout zúčastněným stranám a dalším případným subjektům zabývajícím se problematikou těžebních nebo posttěžebních čin-

ností návod na řešení dlouhodobých i náhlých dopadů na provozované, uzavřené a opuštěné uhelné doly, lomy a výsypky způsobené změnou klimatu a extrémními povětrnostními jevy. Zároveň se předpokládalo, že v určitých oblastech bude možno využít výše uvedený návod rovněž pro lokality s těžební historií jiných ložisek nerostů.

Zatímco extrémní jevy počasí, které jsou důsledkem změny klimatu, jsou již mnoho let dobře prozkoumaným tématem, teprve nedávno se toto téma objevilo v hledáčku mezinárodního těžebního průmyslu. Některé doly a lomy již čelily problémům souvisejícím se zvýšenými nepříznivými povětrnostními podmínkami, které se tak staly základem pro řešení těchto problematik. Základní predikované scénáře změny klimatu naznačovaly, že tento typ událostí bude v budoucnu s největší pravděpodobností častější a rovněž intenzivnější.

K dosažení těchto cílů projekt TEXMIN identifikoval a vyhodnotil environmentální dopady na pro-

vozované, uzavřené a opuštěné dolové a lomové provozy způsobené krátkodobým nárůstem extrémních povětrnostních jevů i dlouhodobou změnou klimatu. Scénáře změny klimatu byly vypočteny z regionálních klimatických modelů a základního přehledu klimatu. Byly identifikovány a vyhodnoceny dopady zvýšení srážek, teploty a náhlých změn atmosférického tlaku s ohledem na těžební lokality napříč evropským kontinentem se zaměřením na hlavní problémy týkající se oblasti důlních vod, emisí plynů, stabilitních problémů a dalších navazujících problematik. V rámci projektu byla posouzena rizika, posouzeny adaptační a monitorovací strategie a byl vytvořen softwarový nástroj pro zmírnění současných i budoucích dopadů. Strategie monitorování a integrovaný nástroj řízení by měly pomoci snížit zranitelnost těžebnímu sektoru vůči extrémním výkyvům počasí a změnám klimatu. Kromě toho byla v pilotních studiích aplikována a vyzkoušena některá nápravná opatření navržená jak pro vlastní těžební prostory, tak pro výsypkové, resp. sanované nebo rekultivované lokality spojené s těžbou.

3 | SLOŽENÍ VĚDECKÉHO TÝMU

Složení vědeckého týmu vytvořeného ze zástupců evropských zemí reprezentuje níže uvedený přehled.

1	Główny instytut górnictwa (GIG)	Polsko
2	The University of Exeter (UNEXE)	Velká Británie
3	Politechnika slaska (SUT)	Polsko
4	SUBTERRA Ingenieria S.L. (SUB)	Španělsko
5	Ethniko kentro erevnas kai technologikis anaptyxis (CERTH)	Řecko
6	DMT GmbH & Co. KG (DMT)	Německo
7	Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s. (VUHU)	Česká republika
8	Spółka Restrukturyzacji Kopalń S.A. (SRK)	Polsko
9	TAURON Wydobycie Spółka Akcyjna (TWD)	Polsko

Jako hlavní koordinátor vědeckého konsorcia působila polská společnost Główny instytut górnictwa (GIG). Jde o veřejný výzkumný ústav podřízený ministerstvu hospodářství, jehož posláním je poskytovat poradenství, expertizu a vědecký výzkum v aspektech hornictví a environmentálního inženýrství. GIG je jedním z nejuznávanějších partnerů v oblastech jako je monitoring životního prostředí a programy udržitelného rozvoje obcí a regionů. GIG navíc vydává vědecký časopis Journal of Sustainable Mining, který pokrývá témata související s ochranou životního prostředí v průmyslových oblastech, bezpečnou likvidací odpadu a rekultivací po těžbě. GIG má rozsáhlé zkušenosti s působením jako partner a koordinátor programů EU a projektů RFCS. V sou-

časné době je GIG zapojen do 16 projektů RFCS (pět koordinovaných různými odděleními GIG).

Další členem týmu reprezentujícím polskou stranu je Politechnika slaska (SUT). Slezská technická univerzita je jednou z největších technických univerzit v Polsku. Provádí výzkumné aktivity v mnoha oblastech těžby a životního prostředí jako je ochrana ovzduší, ochrana životního prostředí, těžební technologie a aspekty likvidace dolů. Tyto aspekty jsou spojeny s emisemi plynů z uzavřených dolů a emisemi plynu nebo prachu ze skládek a úložišť uhlí. Hornicko-geologická fakulta má partnerství s různými polskými doly včetně těch, které se zabývají těžbou uhlí, lignitu, zinku a mědi.

Spółka Restrukturyzacji Kopalń S.A. (SRK) je polská společnost zabývající se v největším objemu restrukturalizací dolů, likvidací podzemních děl a šachet, přípravou plánů odvodnění, plánů uzavření dolů a monitorováním a údržbou po uzavření dolů. SRK se podílela na několika předchozích projektech RFCS.

Polská společnost TAURON Wydobycie Spółka Akcyjna (TWD) je významným producentem energetického uhlí ve východní části Slezské uhelné pánve v jižním Polsku, ovládající přibližně 20 % polských zdrojů černého uhlí. Technologie vyvinuté v TWD se týkají těžby černého uhlí, flotačního obohacování, výroby kameniva a zmírňování dopadů na životní prostředí.

Součástí University of Exeter ve Velké Británii je Katedra inženýrství, matematiky a fyzikálních věd, která spadá pod fakultu Camborne School of Mines, jednu z nejstarších a nejznámějších hornických škol na světě. Zaměstnanci CSM se podíleli na koordinaci a partnerství v řadě předchozích projektů RFCS a mají hlavní silné stránky výzkumu v geomechanice, zdraví a bezpečnosti, a environmentálních a sociálních dopadech těžby. Zaměstnanci univerzity vedou mezioborové výzkumné téma „Změna klimatu a udržitelná budoucnost“. To sdružuje přední výzkumné odborníky z nejrůznějších oborů napříč univerzitou, aby porozuměli mnoha různým faktorům, které přispívají ke změně klimatu, a zároveň řešili otázky spojené s životním prostředím a udržitelností.

Ethniko kentro erevnas kai technologikis anaptyxis, ve volném překladu Centrum pro výzkum a technologii Řecka (CERTH), je největším výzkumným centrem v severním Řecku a bylo založeno v březnu 2000 jako nezisková organizace, která je přímo podřízena Generálnímu sekretariátu pro výzkum a technologii při Řeckém ministerstvu rozvoje. Posláním CERTH je provádět základní a aplikovaný výzkum s důrazem na vývoj nových produktů a služeb průmyslového, ekonomického a společenského významu v oblastech chemických a biochemických procesů a pokročilých funkčních materiálů,

ekologicky šetrných technologií pro pevná paliva a alternativní zdroje energie, informatiky a telekomunikace, pozemní, námořní a letecké dopravy, agrobiotechnologie a potravinářského inženýrství a biomedicínské informatiky, biomedicínského inženýrství, biomolekulární medicíny a farmakogenetik. CERTH se úspěšně podílel na více než 1 000 konkurenčních výzkumných projektech financovaných Evropskou unií a předními průmyslovými odvětvími z USA, Japonska a Evropy a řeckou vládou.

SUBTERRA Ingenieria S.L. (SUB) je španělská soukromá inženýrská společnost pracující na geologických a geotechnických projektech – v oblasti těžby, civilních a vodních elektráren – se speciálními odbornými znalostmi v podzemním a geotechnickém inženýrství během projektování a výstavby. V současné době má aktivní těžební projekty v pěti zemích a čtyři výzkumné a vývojové projekty související s těžbou, stavbou tunelů a geologickými riziky s aktivním napojením na výzkumné a akademické instituce. Zaměstnanci společnosti se podíleli již na 18 projektech VaV jako koordinátor nebo hlavní řešitel.

DMT GmbH & Co. KG (DMT) se sídlem v Essenu v Německu je nezávislá inženýrská a konzultační společnost působící v mezinárodním měřítku. Zaměstnanci DMT – většinou inženýři, vědci a technici – poskytují služby formou individuálního poradenství a pomoci. Divize Geo Engineering & Exploration společnosti DMT má rozsáhlé odborné znalosti v oblasti plánování dolů, mechanického hodnocení hornin, testování a monitorování, jakož i inženýrských služeb a nabízí tyto služby po celém světě. DMT přispělo k různým evropským výzkumným programům, které se zabývaly tokem, genezí a kvalitou důlních vod a má zkušenosti z mnoha projektů RFCS. Pracovníci DMT mají odborné znalosti v oblasti vývoje modelů, odvodňování, geochemie a hospodaření s důlními vodami. DMT je důležitým dodavatelem německých uhelných těžebních společností a provedla mnoho studií a úkolů v oblasti Porúří a Sársky, po několik desetiletí rovněž spravuje databázi přítoků a oběh důlních vod, důlních dutin, šachet a výpustí.

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s. (VUHU) je jedinou výzkumnou a podpůrnou institucí zabývající se povrchovou těžbou uhlí v České republice. VUHU úzce spolupracuje se všemi povrchovými doly v Mostecké a Sokolovské pánvi, poskytuje široké spektrum specializovaných podpůrných činností s odbornými znalostmi v oblasti geomechaniky, technické diagnostiky, projektování a výstavby menších těžebních technologií, hydrogeologie a životního prostředí a provozuje akreditované laboratoře zaměřené rovněž na tuhá paliva a vedlejší energetické produkty. Dva hlavní akcionáři společnosti jsou největší těžbařské společnosti působící v severočeské pánvi – Severočeské doly a.s. a Vršanská uhelná a.s. VUHU je dále dlouholetým řešitelem jak národních,

tak mezinárodních výzkumných projektů, jejichž výstupy jsou publikovány v České republice i v zahraničí formou odborných článků a přednášek, a na domácích i mezinárodních konferencích a ve sbornících z těchto konferencí. VUHU také vydává odborný časopis Zpravodaj hnědého uhlí, který je zaměřen na prezentaci výsledků výzkumu a vývoje v oblasti hornictví a příbuzných tematik.

4 | ŘEŠENÍ PROJEKTU

Celé řešení výzkumného projektu TEXMIN bylo podloženo plněním dílčích výzkumných úkolů a cílů, které jsou popsány v následujícím přehledu.

1. Přezkoumat a zaznamenat předchozí extrémní jevy počasí v těžebním průmyslu a přezkoumat historické trendy klimatu v hornických regionech po celé Evropě;
2. Deklarovat projekce budoucích klimatických změn pro evropské těžební regiony pro různé emisní scénáře;
3. Na základě těchto modelovaných projekcí určit, jaký by budoucí klimatické scénáře mohly mít dopad na uzavřené, opuštěné a provozované doly v těchto regionech;
4. Identifikovat, kvantifikovat a hodnotit dopady způsobené změnami srážek, teploty a náhlými změnami atmosférického tlaku, a modelovat je pro lepší pochopení toho, jak mění se parametry ovlivňují výsledky;
5. Vyvinout účinné adaptační strategie a řešení monitorování za účelem snížení dopadu a zranitelnosti lokalit vůči změně klimatu a v reakci posílit předpoklady udržitelnosti těžebních činností, zejména v souvislosti s plánováním a uzavíráním dolů;
6. Vyvinout integrovaný nástroj řízení rizik;
7. V poloprovozním měřítku aplikovat nápravná opatření pro stabilizaci opuštěných či uzavřených dolů a výsypkových prostor v případě výskytu extrémních povětrnostních jevů;
8. Zapojit všechny zúčastněné strany do procesu konzultací a sdělování zjištění a výstupů po celou dobu trvání projektu s cílem upozornit na tyto problémy a zranitelná místa;
9. Výměna znalostí o extrémních povětrnostních jevech ovlivňujících různé doly v Evropě.

4.1 | PŘÍRUČKA TEXMIN (HANDBOOK)

Z předložené strategie řešení projektu vyplývá, že celkovým cílem projektu TEXMIN bylo vyvinout integrovaný nástroj řízení a monitorovací strategie pro snížení zranitelnosti těžebního sektoru vůči extrémním povětrnostním jevům a změnám klimatu. K tomuto cíli byla jako hlavní podkladový ma-

teriál zpracována tzv. Příručka TEXMIN [1], která uceleně shrnuje jednotlivé kroky řešení projektu a která by měla sloužit jako hlavní vodítko pro pochopení využitelnosti vytvořeného systematického programového integrovaného nástroje řízení rizik z hlediska extrémních povětrnostních jevů a změn klimatu. Ze znění příručky pak vychází i další přiblížení řešení projektu, které je obsahem následujícího textu tohoto souhrnného článku.

Vlastní příručka je rozdělena do tří hlavních částí – část A, B, C – a příloh.

Část A zahrnuje úvodní základní informace a přehledovou část, která obsah příručky uvede do širšího kontextu celého zpracovaného materiálu.

Ve zbývajících hlavních částech A následují klíčová témata:

- přehled dopadu historických extrémních povětrnostních jevů na provozované nebo již opuštěné doly,
- základní přehled změn klimatu,
- počítačové modelování klimatických změn, dopady budoucích extrémních povětrnostních jevů na těžbu.

Část B pokrývá nástroje, metody a strategie pro eliminaci nebo minimalizaci dopadu extrémních povětrnostních jevů na provozované nebo opuštěné

doly a oblasti v jejich těsné blízkosti. Většina částí B příručky je rozdělena do částí pokrývajících hlavní kategorie rizik nebo studovaných technik, jmenovitě:

- povrchové vody odtékající z dolů nebo souvisejících staveb,
- důlní voda,
- emise plynů z dolů,
- stabilita povrchu a konstrukcí,
- metody rekultivace a sanace opuštěných, resp. uzavíraných dolů.

Tato část příručky obsahuje rovněž informace o inovativním programovém integrovaném nástroji řízení rizik, který byl v rámci řešení projektu vyvinut a který spojuje dopady na životní prostředí, související rizika a způsoby zmírňování zapříčiněné extrémními povětrnostními jevy. Tento nástroj pak poskytuje uživatelsky přívětivý podklad pro identifikaci optimálního řešení z hlediska všech relevantních identifikovaných dopadů a pomáhá uživateli rozhodnout, jakou strategii řízení zvolit, aby bylo dosaženo nejlepších výsledků.

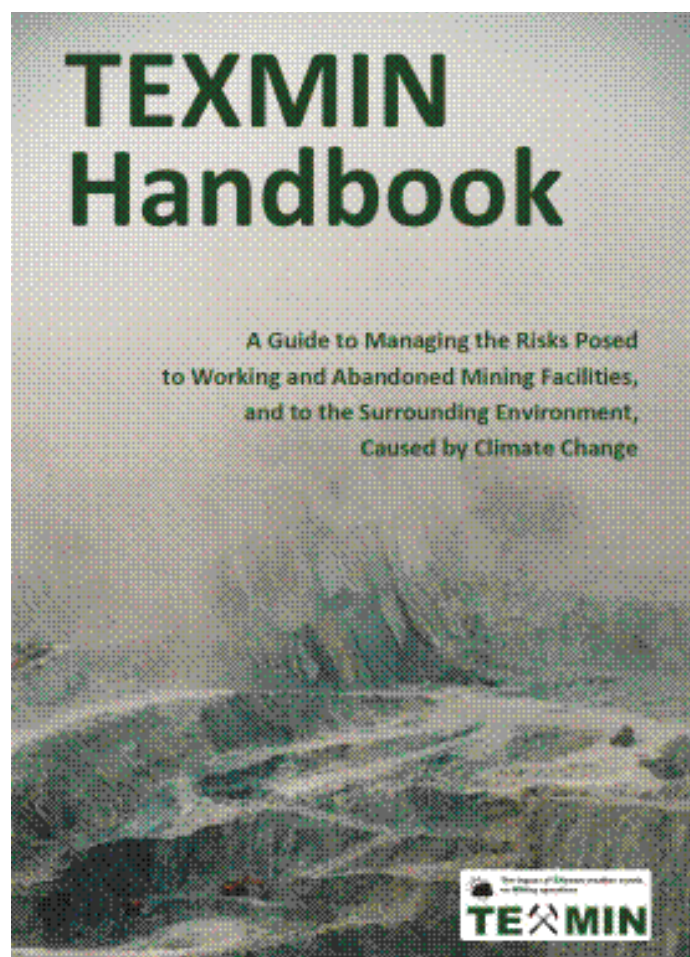
Část C poskytuje výběr případových studií, které ilustrují, jak byly použity nástroje, metody a strategie zmírňování diskutované v části B.

Dále příručka obsahuje tři přílohy. Příloha A poskytuje podrobnější informace o projektu TEXMIN a jeho řešitelském týmu. Příloha B se zabývá některými příklady dobré praxe v oblasti zmírňování rizika změn klimatu souvisejících s těžbou, které jsou dostupné jako dílčí výstupy výzkumných prací z celého světa mimo projekt TEXMIN. Příloha C je abecední seznam referencí, který poskytuje podrobnosti o externích publikacích, na které je v příručce odkazováno.

Tato příručka je pak volně ke stažení na stránkách projektu TEXMIN v části Publikace <http://texmin.gig.eu/index.php/news/publications>.

4.2 | PŘEHLED DOPADU HISTORICKÝCH EXTRÉM-NÍCH POVĚTRNOSTNÍCH UDÁLOSTÍ

Rozsáhlý průzkum o historických extrémních povětrnostních událostech, které postihly oblasti s provozovanou nebo ukončenou těžební činností v Česku, Německu, Řecku, Polsku, Španělsku a Velké Británii, měl za úkol předběžně definovat hlavní potenciální oblasti rizik, které sloužily jako podklad pro následující bližší specifikaci řešení dané problematiky. Informace byly prezentovány podle účastnických zemí projektu, cílem však nebylo provést přímé srovnání počtu incidentů, ať už s ohledem na rozdíly ve vykazovaných číslech nebo relativní jednoduchosti shromažďování údajů, ale právě zachytit variabilitu možných rizik ve vztahu k popsáním katastrofickým jevům těžebních a posttěžebních lokalit.



Obr. 1: Sesuv na jižním svahu povrchového dolu Nachterstedt.



Německo

Průzkum se zaměřil především na čtyři uhelné regiony - Durynsko, Sársko, Sasko a Severní Porýní-Vestfálsko - s podrobnou analýzou těžebních oblastí v Porúří a Ibbenbürenu. Popsány byly zejména jevy související s extrémní srážkovou činností. Výjimečné rozvodnění řeky Mulde v srpnu 2002 vedlo během dvou dnů k neočekávanému naplnění jezera Goitzsche jako prostoru po povrchové těžbě uhlí [2]. Díky této výjimečné situaci stoupla hladina podzemní vody u jezera v oblasti Bitterfeld o několik metrů a v důsledku stoupající hladiny podzemní vody se zcela změnila regionální hydraulická situace a směr proudění podzemní vody s vlivem na zásobování vodou z mělkých zdrojů. Ve vazbě na silnou srážkovou činnost bylo dále popsáno několik dalších incidentů z let 2000-2019, kdy došlo k sesuvům na hranici činných lomů nebo naopak průvalům a řícením v oblastech starých důlních děl. Mezi největší události lze zahrnout zemní sesuv z července 2019, kdy došlo na jižním svahu povrchového dolu Nachterstedt k rozsáhlému svahovému pohybu cca 4,5 mil. metrů krychlových půdy, při kterém byly zničeny tři obytné domy na přilehlém sídlišti (obrázek č. 1).

Řecko

Kromě Řecka byly do přehledu zahrnuty incidenty rovněž v sousedních zemích na Balkáně. V květnu 2014 se jihovýchodní Evropou prohnala obrovská bouře, která způsobila rozsáhlé záplavy v Bosně a Hercegovině, Srbsku a Chorvatsku. V Srbsku byly zasaženy doly o rozloze 5,9 km², zatímco v Kosovu bylo do konce roku 2014 potvrzeno 77 postižených těžebních oblastí o rozloze 2,75 km². V Černé Hoře bylo zasaženo celkem 1,72 km². V Srbsku bylo zasaženo 70 % výrobního sektoru, což ovlivnilo provoz i dvou uhelných dolů nezbytných pro zásobování tamních elektráren, které musely být následně odstaveny z provozu. Zachyceno a popsáno bylo množ-

ství sesuvů půdy a bahna, které se vyskytly v těžebních oblastech a způsobily smrtelné úrazy, zničení důlní infrastruktury nebo silničních mostů. Řecký těžební sektor zasáhly i další extrémní povětrnostní jevy. Zima 2002-2003 byla charakterizována jako nejkrutější zima za posledních 50 let. Sněžení bylo mimořádně vysoké, což vedlo k uzavření hnědouhelného dolu Západní Makedonie na 20 dní, které následně ovlivnilo energetickou krizi v celém Řecku. Silné srážky na podzim roku 2014 vyvolaly v hnědouhelném dole Kardia silné záplavy, kdy kapacita čerpací stanice nezabránila zatopení dna lomu a naakumulovaná voda způsobila vážné poškození důlní infrastruktury včetně zatopení některých důlních strojů. Navíc vlna veder v létě 1991 způsobila důlnímu personálu vážné problémy, kdy musely být zastaveny práce z důvodu nesnesitelných pracovních podmínek a přímého ohrožení zdraví pracovníků z důvodu úžehu a dehydratace.

Polsko

Analýza dostupných údajů prokázala, že v Polsku nejsou žádné jasně identifikované události při hlubinné těžbě, které by byly způsobeny vydatnými srážkami. Jediné tři případy se týkaly povrchové těžby. V roce 2001 došlo v žulovém lomu Józefka (Świętokrzyskie vojvodství) k zatopení druhého stupně těžby důlního dolu v důsledku vydatných srážek, kdy těžební technologie musely být staženy z nebezpečné oblasti. K podobné události se stejnými následky došlo v roce 2002 v dolomitovém dole Radkowiec (Mazowieckie vojvodství), kdy byl v důsledku vydatných srážek zatopen třetí těžební stupeň. V srpnu 2006 došlo v hnědouhelném dole Konin O/Józwin (Wielkopolské vojvodství) k zaplavení dna lomu s hlavní čerpací stanicí v důsledku velmi vydatných srážek. Avšak hlubší analýza nebezpečných událostí týkajících se podzemních dolů vedla k předpokladu, že některé byly skutečně způsobeny přímo nebo nepřímo silnými srážkami.

Obr. 2: Havárie těžní jámy s šachetní věží a přilehlými budovami v uhelném dole Szczygłowiec.



Obr. 3: Protržení hráze odkaliště zinkového dolu Aznalcóllar.



Jedním z hlavních takových rizik jsou neočekávané průvaly důlních vod nebo rozbředlých materiálů do důlních děl. V letech 2000-2018 došlo v Polsku k osmi takovým případům průvalů vod nebo zvodnělých materiálů.

V Polsku pak byl charakterizován výskyt jiných nebezpečných jevů, kdy zejména v okolí již opuštěných důlních hlubinných děl dochází nárazově k emisím důlních plynů s možným vlivem určitých klimatických podmínek. Nebezpečí výronu plynů bylo zaznamenáno a podrobně dokumentováno v roce 2006 u opuštěných uhelných dolů LZW, kdy maximální naměřené emise metanu a oxidu uhličitého byly $620 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{h}$ a $330 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{h}$.

Dalšími dokumentovanými jevy jsou v Polsku zejména různé menší či větší zemní propady v oblastech bývalé hlubinné těžby, které lze přičíst působení zejména vydatnější srážkové činnosti, kdy za posledních 5 let se jednalo celkem o 12 případů. Z větších událostí lze jmenovat zejména propad v bývalé těžební oblasti Niwka Modrzejów v Sosnowci (oblasti starých mělkých důlních děl) v městské oblasti okresu Dańdowkaz roku 2013 a propad v bývalé těžební oblasti Jana Kantyho v městské části Jaworzno v okrese Podwale z roku 2017. Jednou z nejzávažnějších havárií ve vazbě na extrémní klimatické jevy byla havárie těžební jámy v uhelném dole Szczygłowice v roce 2008 (obrázek č. 2), kdy došlo k totální destrukci konstrukce šachetní věže a přilehlých budov, přičemž byly s největší pravděpodobností podceněny účinky klimatických a povětrnostních jevů na stabilitu a únosnostní podmínky zemního povrchu [3].

Španělsko

Pokud jde o vztah mezi extrémními klimatickými jevy a účinky na těžební činnost, nebyly ve Španělsku zjištěny žádné konkrétní případy, kdy by

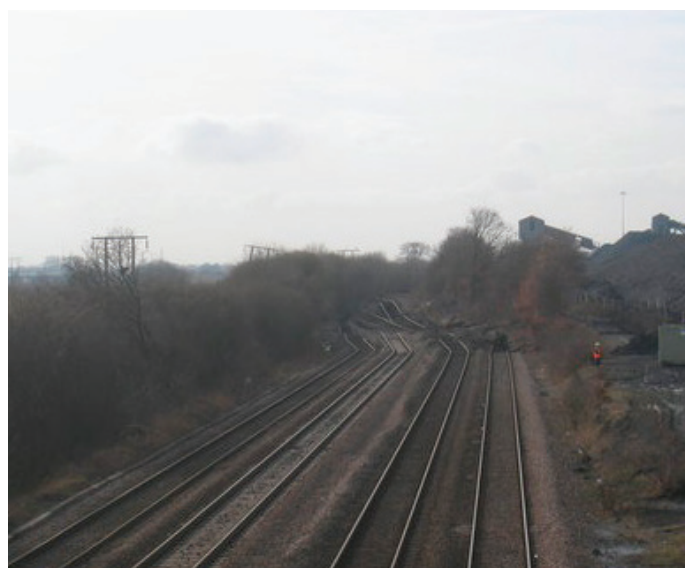
byla v tomto ohledu provedena podrobnější analýza, nebo informace o dolech zasažených např. silnými srážkami zcela chybí. Existuje však pravděpodobnost, že těžební činnost byla kvůli extrémním povětrnostním jevům ovlivněna v několika případech. Nejvýraznějším případem je katastrofa v Aznalcóllaru v roce 1998, kdy došlo v důsledku technické poruchy po silných deštích k protržení hráze odkaliště zinkového dolu a uvolněný tok kyselých nebezpečných odpadních kalů z dolu Aznalcóllar zasáhl nedalekou řeku Agrio, včetně navazujícího toku řeky Guadiamar v délce více jak 40 km s katastrofálními dopady na životní prostředí, včetně přilehlého národního parku Doñana, který je zapsán na seznamu světového dědictví UNESCO a je jedním z největších národních parků v Evropě (obrázek č. 3).

Velká Británie

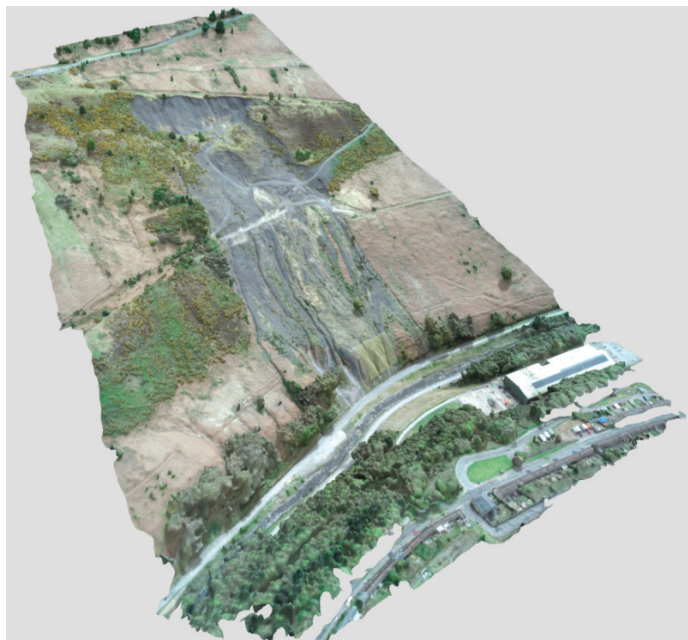
Ve Velké Británii bylo v období od roku 1966 do roku 2022 vlivem nepříznivých klimatických podmínek zaznamenáno nejméně 30 incidentů v lokalitách aktivní nebo ukončené těžební činnosti, z nichž většina spadá do období posledních 20 let. Nejvíce z nich se týká silných deštů, ale dva byly způsobeny dlouhými obdobími sucha a jeden se týkal období sucha ve spojení s neobvykle horkým počasím.

Historicky nejvýznamnější je událost z roku 1966, týkající se dolu Merthyr Vale v Aberfanu v jižním Walesu, kdy sesuv půdy po silných deštích částečně zdemoloval vesnici včetně školy, což mělo za následek 144 úmrtí, většinou dětí. Další sesuv půdy z roku 2013 byl zaznamenán u dolu Hatfield v jižním Yorkshiru, kdy po období dlouhotrvajících deštů (na rozdíl od jednoho přívalového deště) se uvolnily části výsypky na železniční trať a uzavřely ji na téměř šest měsíců (obrázek č. 4). Třetí dokumentovaný případ zahrnoval sesuv půdy během silné bouře v roce 2020 v cípu Tylorstown v jižním Walesu, který způsobil značné narušení stability výsypkového tělesa

Obr. 4: Poškození železnice v důsledku sesuvu výsypky v Hatfield Colliery.



Obr. 5: Sesuv půdy v Tylorstown - 3D model sesuvu.



Obr. 6: Katastrofální sesuv v oblasti dálnice D8 pod lomem Dobkovičky.



a vyžadoval rozsáhlé sanační práce jak na samotné výsypce, tak na postižené infrastruktuře (obrázek č. 5).

V několika dalších případech se jednalo o záplavy, nadměrné odtoky dešťových srážek z výsypce a ovlivnění přilehlých vodních toků nebo přerušení vodních toků pohybem výsypce. Jedna povodňová událost měla za následek výron důlních plynů z opuštěného hlubinného dolu. V jednom případě bylo zaznamenáno ovlivnění kvality povrchových vod splachem z výsypkového tělesa a rovněž zanesení škodlivin na zemědělskou půdu s následným úhynem hospodářských zvířat. Všechny ostatní události se týkaly závalů opuštěných šachet nebo mělkých důlních děl a týkaly se jak bývalých uhelných dolů, tak dolů měď/cín, olovo/zinek, železo, vápenec a křída.

Některé zaznamenané sesuvné jevy nebo propady půdy byly považovány naopak za následek dlouhých období sucha, v jednom případě došlo vlivem dlouhodobého sucha na opuštěné výsypce o dolu Hatfield Colliery k mohutnému požáru, kdy místní obyvatelé byli ohroženi zejména následným kouřem z požářiště.

Česká republika

Nejvýznamnějšími faktory pro kvantifikaci klimatických extrémů v České republice byly teplota, vodní poměry včetně srážek a počet erozních havárií (sesuvů). Průzkum se zaměřil zejména na uhelné regiony SZ Čech, kdy se celkově v rámci ČR jedná o suchou a teplou oblast, takže skutečně extrémní škody ovlivněné klimatem zde v hodnoceném období nebyly zaznamenány. Pro těžební činnost byly identifikovány jako rizikové spíše přívalové srážky. Oblast Mostecké uhelné pánve je velmi

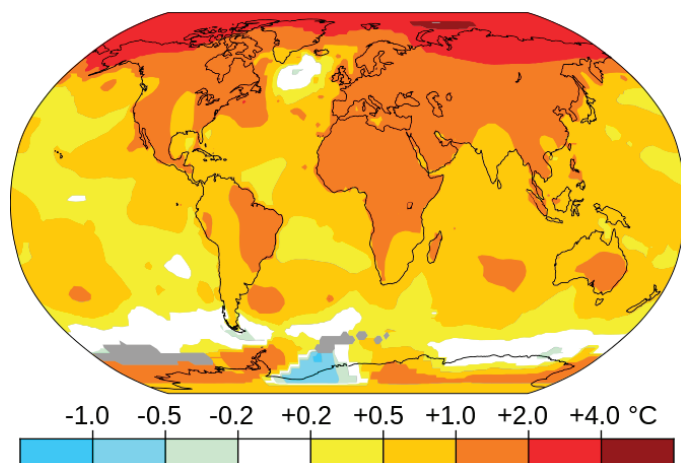
ohrožena z hlediska erozních vlivů a sesuvů. Hlavními důvody těchto jevů jsou geologická situace a extrémní klimatické jevy, především kombinace suchého počasí s následnými přívalovými srážkami. V poněkud vlhkém období cca 2000-2015 způsobily extrémní srážky několik povodní a výraznější sesuvy půdy.

Z analýzy literatury vyplývá, že většina identifikovaných událostí byla způsobena silnými dešti. Situace se změnila v roce 2015, kdy začal převládat vliv sucha. Výjimečné srážky na začátku srpna 2002 byly zdrojem povodní velké části České republiky, především jižní, západní, střední a severní části Čech, přičemž značné škody byly zaznamenány i v těžebním průmyslu. Velmi nebezpečný sesuv byl aktivován v průběhu ledna 2011. Sesuvné území se nacházelo ve svahu lomu ČSA u Krušných hor. Hlavním důvodem tohoto incidentu byla kombinace geologické a klimatické situace.

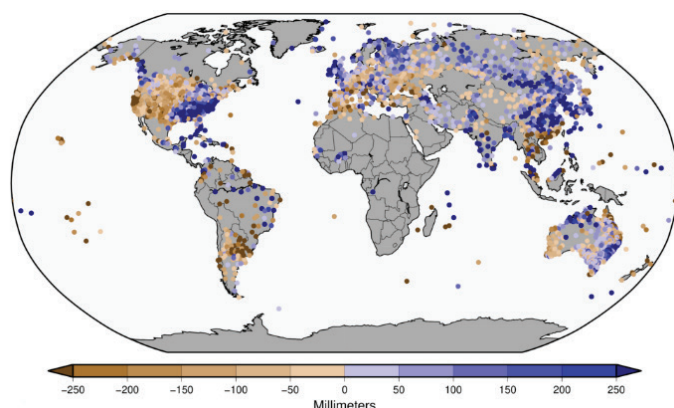
Ke katastrofálnímu sesuvu došlo v červenci 2013. Sesuvné území se nacházelo na svazích Českého středohoří u obce Dobkovičky a provozovaného kamenolomu. Sesuv poškodil dálnici D8 a místní železniční dráhu. Hlavní příčinou této události byla kombinace velmi nebezpečné geologické situace a extrémních srážek (obrázek č. 6).

Výskyt suchých období způsobuje škody především na lesních a zemědělských rekultivacích. Suché období 2015-2019 s extrémně suchým rokem 2018 způsobilo velké škody především na lesnických rekultivacích. Na řadě lokalit je dobře zdokumentován vliv sucha na odumírání sazenic i vzrostlých stromů.

Obr. 7: Teplota 2011-2021 vs. 1965-1976 (NASA).



Obr. 8: Srážky 2020 vs. 1961-1990 (NCEI).

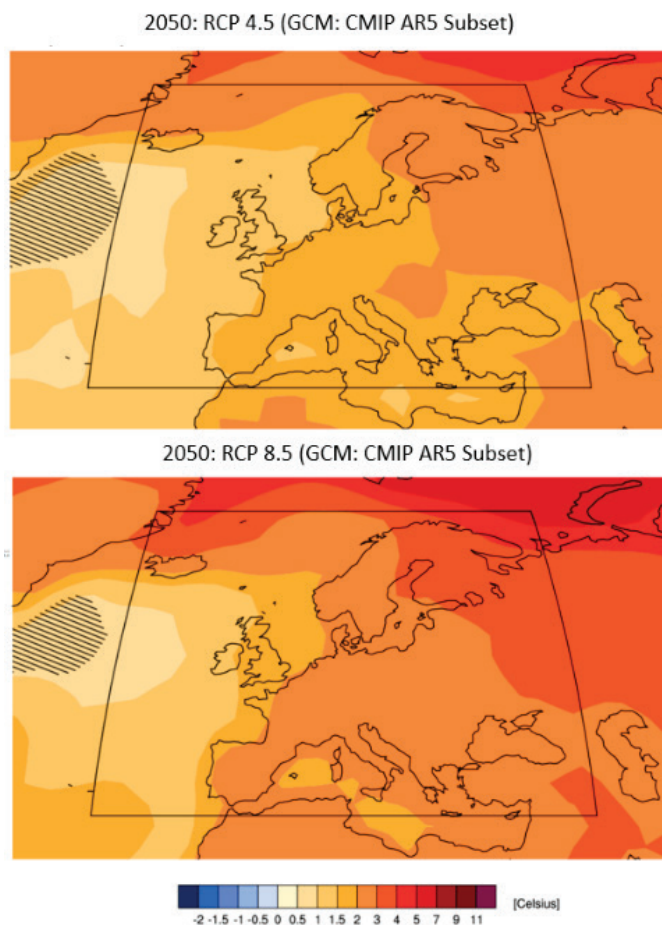


4.3 | KLIMATICKÁ ZMĚNA A MODELOVÁNÍ ZMĚN KLIMATU

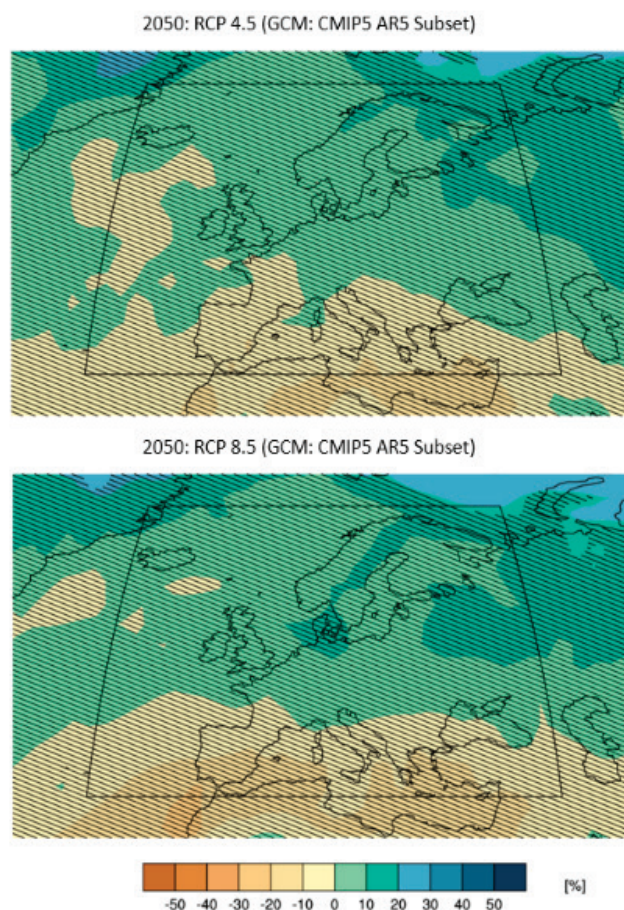
Termín „klimatická změna“ se běžně používá, i když ve vnímání veřejnosti je obvykle spojován s rostoucími teplotami a rovněž i se zvyšující se pravděpodobností silných bouří. Oba tyto trendy jsou skutečně spojeny se změnou klimatu, ale změny, které mohou negativně ovlivnit provozované nebo opuštěné těžební lokality, zahrnují další důležité transformace. Pro základní ilustraci vývoje teploty a srážkové činnosti na Zemi v období posledních cca 50 let byla Národním úřadem pro letectví a vesmír (NASA, USA), resp. Národním centrem pro informace o životním prostředí (NCEI, USA), konstruována schémata změny teploty a srážek na obrázcích č. 7 a 8.

Tyto informace se týkají změny klimatu, které jsou jednoznačně dokladovány dlouhodobým monitoringem, a tedy již proběhly. Obecně se však předpokládá, že klimatické změny budou pokračovat i v budoucnu s určitými projevy klimatických jevů. Globální cirkulační model (Global Circulation Model - GCM) je v podstatě matematickou reprezentací globálního klimatického systému a vychází z konstrukce sítě (mřížky) různého rozlišení, která představuje horizontální a vertikální oblasti na po-

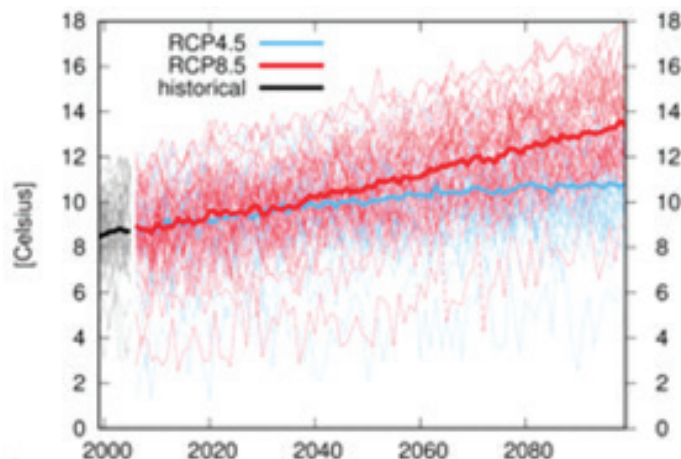
Obr. 9: Teplotní scénáře 2050 vs. 1981-2000.



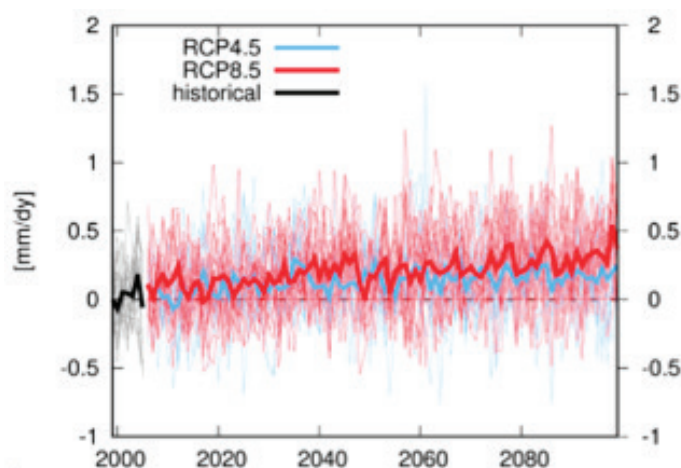
Obr. 10: Srážkové scénáře 2050 vs. 1981-2000.



Obr. 11: Projekce teplot na území Polska v letech 2020-2100.



Obr. 12: Projekce srážek na území Polska v letech 2020-2100.



vrchu Země. V současné době se tak pracuje s několika základními klimatickými modely, které obsahují tzv. budoucí emisní scénáře a jsou vyjádřeny jako Reprezentativní směry vývoje koncentrací – anglicky Representative Concentration Pathways (RCPs), které v podstatě indikují různé koncentrace skleníkových plynů, jež povedou ke zvýšení celového radiačního působení o cílové množství do roku 2100 ve srovnání s předindustriálními úrovněmi [4]. Tyto cíle byly stanoveny na 2,6; 4,5; 6,0 a 8,5 wattů na metr čtvereční (W/m^2), aby pokryly širokou škálu pravděpodobných budoucích emisních scénářů, a tyto cíle jsou označeny jako RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 a RCP8.5. Označení RCP2.6 představuje scénář, kde jsou emise skleníkových plynů výrazně sníženy (do roku 2050 na polovinu), což vede k nejlepšímu odhadu globálního průměrného nárůstu teploty o $1,6^\circ\text{C}$ do roku 2100 ve srovnání s předindustriálním obdobím. RCP8.5 je scénář, kde emise skleníkových plynů pokračují v nezmírněném růstu, což vede k nejlepšímu odhadu globálního průměrného nárůstu teploty o $4,3^\circ\text{C}$ do roku 2100. RCP4.5 a RCP6.0 jsou dva střední stabilizační scénáře s různou úrovní zmírnění. V současné době existuje větší množství různých modelů GCM vytvořených vědeckými týmy, vládními agenturami a výzkumnými zařízeními po celém světě.

Vzhledem k tomu, že prostorové rozlišení GCM je velmi hrubé, tyto jsou užitečné pouze pro rozsáhlé projekce globálního klimatu. Aby byla data lépe použitelná v regionálním měřítku, je třeba data zmenšit na mnohem jemnější prostorové rozlišení do podoby regionálních klimatických modelů (RCM). Hrubší data o prostorovém klimatu z GCM jsou obvykle zmenšena z ~ 500 km buněk mřížky na menší buňky mřížky (20 km i méně). Tzv. downscaling lze provádět jak na lokačních, tak na časových aspektech hrubších klimatických projekcí generovaných GCM, aby bylo možné odvodit klimatická data s jemnějším rozlišením.

V roce 2009 vzešla ze Světového programu výzkumu klimatu (World Climate Research Programme, WCRP) iniciativa CORDEX (Coordinated Regional climate Downscaling Experiment) [5]. Technikami dynamického i statistického downscalingu jsou zkoumány nejistoty v projekcích budoucího klimatu, a koordinovanými projekty založenými na tomto rámci vytvářeny regionální scénáře klimatu pro všechny kontinenty. Evropská odnož iniciativy CORDEX se nazývá Euro-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net/>) a má více než 30 modelovacích skupin, které spolupracují na simulaci evropského klimatu napříč všemi scénáři a zpřístupňují data RCM veřejnosti. Vznikají tak národní RCM, které zpřesňují širší klimatický model pro panevropský prostor. Na následujících grafických předlohách jsou uvedeny předpovědi vývoje klimatu celé Evropy pro teplotu a srážky podle scénářů RCP4.5 a RCP8.5 v časovém horizontu roku 2050 (obrázky č. 9 a 10).

Kromě těchto předpovědí ve vysokém rozlišení byly vytvořeny geograficky podrobnější informace týkající se hlavních uhelných lokalit v jednotlivých zemích partnerů projektu a vyjma mapových prezentací byly vytvořeny také grafy znázorňující vývoj teploty a srážek v čase podle zvolených scénářů RCP4.5 a RCP8.5. Jako příklad jsou uváděny projekce grafů teploty a srážek ze sousedního Polska pro období let 2020-2100 (obrázky č. 11 a 12).

4.4 | DOPADY BUDOUČÍCH EXTRÉMních POVĚTRNOSTNÍCH UDÁLOSTÍ NA TĚŽEBNÍ ČINNOST

V dalším textu kapitoly je zpracován základní přehled očekávaných dopadů budoucích extrémních povětrnostních jevů souvisejících se změnou klimatu na provozované nebo již opuštěné doly a výsypky. V základním členění se jedná o tři hlavní klimatické proměnné, a to srážky, teplotu a atmosférický tlak.

4.4.1 | SRÁŽKY

Ovlivnění těžební činnosti srážkami lze ze základního pohledu dále rozčlenit jako ovlivnění povrchovými vodami a vliv na důlní vody.

Povrchová voda

Jedná se zejména ohrožení extrémními srážkovými jevy, ať už z pohledu krátkodobých přívalových srážek nebo naopak dlouhodobějších srážek s extrémní vydatností. Z tohoto pohledu se může jednat o rizika nadměrného odtoku z povrchu provozovaných výsypek nebo výsypek s nedokončenou celkovou rekultivací, ohrožení okolních blízkých sídel nebo jiné infrastruktury povodňovou vlnou či záplavovými jevy z důlních prostor či zatopení různých částí dolů s případnými destrukcemi staveb a jiných důlních zařízení, způsobení neprůjezdnosti přístupových cest.

Z dlouhodobějšího působení extrémních srážek lze jako riziko definovat ovlivnění kvality okolních přirozených vodních toků různými splachy nebo vyluhováním odlišného zeminového prostředí z výsypek a hald, narušení stability svahových částí s možností sesuvů či bahnotoků a v neposlední řadě možnosti havárií odkališť ve formě poruch hrázových systémů, nedostatečné kapacity záchytných nádrží s přetoky vody či kalů s rizikem působení jiného chemismu na okolní prostředí. Přestože budoucí přepokládaná změna úrovně srážek směrem k vyšším hodnotám je ze základního pohledu znepokojivá, škodlivá mohou být naopak i dlouhá období sucha, která se mohou vyskytnout v některých zeměpisných oblastech. Sedání některých typů půd způsobená dlouhodobým suchým obdobím může způsobit kolapsy mělkých důlních děl nebo zhroucení zemin a tvorbu propadů s potenciálem narušení staveb, infrastruktury a ohrožení života. Suchá období mohou také bránit úsilí o sanaci důlních lokalit, jako jsou výsypky a haldy.

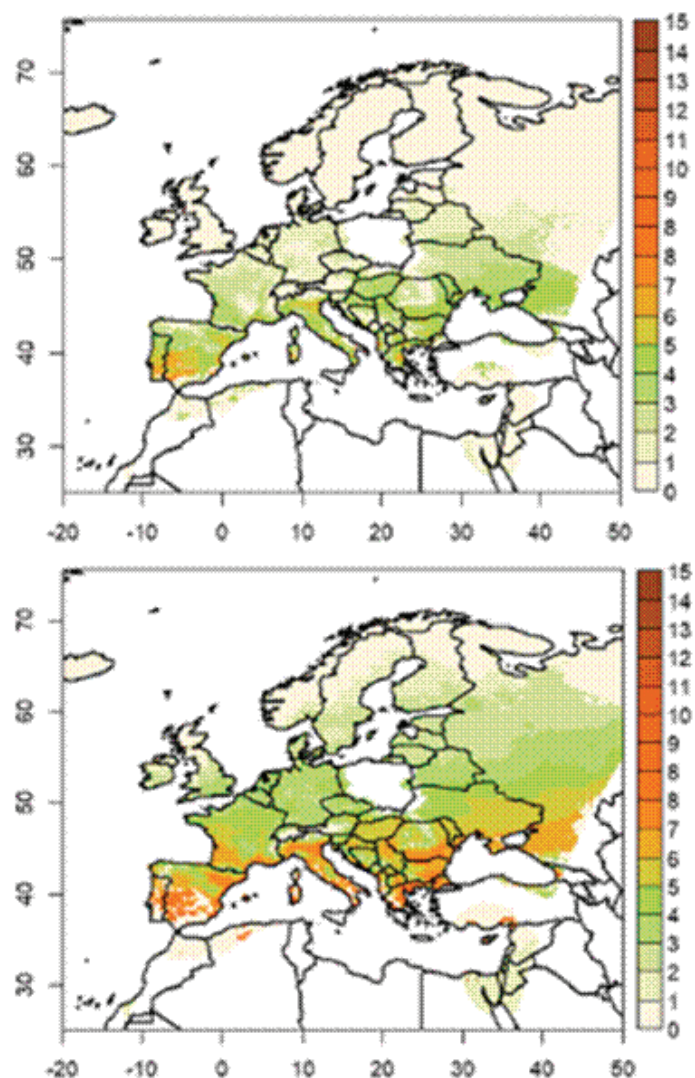
Důlní voda

Ke změnám v oblasti důlních vod – tím se rozumí zejména jejich množství a kvalita – dochází v závislosti na množství vody přitékající nebo se vsakující do podzemního prostředí. Doplnění podzemní vody je dáno nejen srážkami, ale také dalšími klimatickými faktory jako je teplota a vítr, vlastnostmi povrchu, např. sklonem svahů a vegetací, a vlastního zeminového prostředí s ohledem na jeho infiltrační vlastnosti.

Příčinné vztahy jsou často složité, např. když teplota a sezónní vegetace interagují se srážkami. Nadměrné množství důlních vod může být rizikové s ohledem na schopnost čerpacího systému kontrolovat hladinu vody v dole a rovněž může při vypouštění do povrchových vod způsobovat možnost vyššího znečištění a ohrožení kvality povrchových vod.

V tomto ohledu studie prováděné v rámci projektu, zahrnující doly v Německu, Polsku a Španělsku, neodhalily významný podíl vlivu krátkodobých silných srážek na množství nebo kvalitu důlních vod a jejich vliv na životní prostředí, průkazně se však potvrdil vliv dlouhodobější srážkové činnosti na kvalitu

Obr. 13: Modelování šíření malarické oblasti - stav 1985-2005 a stav podle klimatického scénáře RCP8.5 pro roky 2080-2100.



a množství důlních vod. Vzhledem k tomu, že modelování změny klimatu ukazuje celkový nárůst srážek v několika oblastech Evropy, a to nejen se zvyšující se pravděpodobností extrémních srážek, lze potenciální ovlivnění důlních vod považovat rovněž za rizikové.

4.4.2 | TEPLOTA

Vyšší celkové teploty a krátké, ale silné vlny veder mohou mít velmi negativní účinky na zdraví pracovníků, kteří jsou těmto vlivům při těžebních činnostech přímo vystaveni. Zejména se to týká tepelného stresu a následně možnosti propuknutí úpalu nebo úžehu, kdy jako důsledek může být zhoršení koncentrace a motorických dovedností (s bezpečnostními důsledky), někdy svalové křeče, vyčerpání nebo mdloby, přičemž může dojít až k přímému ohrožení života.

Vyšší teploty budou rozhodně ovlivňovat i plánování a realizaci rekultivačních projektů, kdy bude nutno posuzovat negativní vliv na druhy rostlinného materiálu používaného při rekultivačních pracích

a případně realizovat programy opětovné výsadby tolerantnějšími druhy rostlin a dřevin.

Zvýšení teplot může v určitých oblastech dále zvyšovat pravděpodobnost požárů ve vegetaci na rekultivovaných plochách, včetně rizika pochodů samovznícení výsypek a hald s vyšším podílem organických látek nebo jiných podobných částí aktivních nebo opuštěných dolů. Zvýšení teploty může mít také vliv na zrychlení a množství prachových emisí z volných těžebních nebo výsypkových ploch s ovlivněním přilehlých aglomerací, resp. zhoršení kvality ovzduší příslušného regionu. Ve vazbě na charakteristiku geologického prostředí to může znamenat i vnášení dalších škodlivých či toxických látek do ovzduší a z toho vyplývající zvýšené riziko vlastností prašného spadu. Stejně jako u případných požárů je účinek výsledkem několika možných aspektů změny klimatu, tj. nejen zvýšení teploty, ale např. i větrné situace či množství srážek.

Určitým rizikem souvisejícím se vzrůstající průměrnou teplotou může být rovněž rozšíření oblastí s výskytem přenašečů různých nemocí, které jsou charakteristické pro teplejší podnebné oblasti a které souvisejí s vhodnými podmínkami pro jejich šíření (např. odkaliště, různé jiné vodní a vybudované mokřady v rámci projektů rekultivace apod.). Jako příklad lze uvést předpokládané geografické rozšiřování malarické oblasti, jak uvádí modelové zpracování vytvořené na základě odhadované změny klimatu podle scénáře RCP8.5 na obrázku č. 13 [6].

Dalším aspektem postupného zvyšování teploty může být i změna rychlosti proudění vzduchových mas nad činnými oblastmi zejména povrchových dolů, které se rychleji prohřívají než okolní vegetačně pokrytý terén, a zvyšování nejen rizika prašnosti, ale rovněž zvýšení rizika plyných emisí (viz další podkapitola Atmosférický tlak).

4.4.3 | ATMOSFÉRICKÝ TLAK

Vztah mezi atmosférickým tlakem a množstvím emisí důlních plynů je v současné době dokumentován u řady zejména činných uhelných dolů. Budoucí modelované změny klimatu, u kterých se předpokládají větší intenzity různých klimatických, resp. povětrnostních jevů, s největší pravděpodobností zhorší rovněž podmínky pro zmiňovanou emisní charakteristiku, kdy prudší změny atmosférického tlaku mohou vyvolat zvýšené emise důlních plynů a jejich koncentrace v ovzduší v samotných těžebních lokalitách nebo jejich nejbližším okolí. Tato potenciální ohrožení se netýkají pouze nebezpečí výbuchu, ale v závislosti na samotném složení důlních plynů existuje i reálné riziko ohrožení lidského zdraví a bezpečnosti. Za hlavní rizika lze rozhodně považovat emise oxidu uhličitého a metanu s případným následným poklesem koncentrace kyslíku, nicméně je vhodný celkový monitoring složení důlních plynů podle základních charakteristik těžební lokality. Pravděpodobnost rizika zvýšení emisí důlních plynů lze však předpokládat rovněž v okolí opuštěných důlních prostorů nebo mělce uložených zejména uhelných ložisek a jejich výchozů na povrch.

Obr. 14: Kategorie rizik vyvolaných změnou klimatu.

