

Výsledky Výzkumného ústavu pro hnědé uhlí a.s. dosažené při řešení projektu výzkumného programu Ministerstva zemědělství ČR v letech 2015–2018

RNDr. Michal Řehoř, Ph.D., Ing. Pavel Schmidt

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

Přijato: 2. 5. 2019, recenzováno: 5. 6. a 23. 7. 2019

Abstrakt

Ministerstvo zemědělství ČR vyhlásilo v roce 2012 rozsáhlý výzkumný program NAZV-KUS. Jeden z podprogramů byl věnován problematice antropogenně zatížených oblastí České republiky. Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s. (VÚHU a.s.) se do tohoto programu zapojil v letech 2015–2018 jako nositel rozsáhlého výzkumného projektu. Článek stručně shrnuje celkové výsledky výzkumu rekultivační problematiky tohoto projektu, řešené VÚHU a.s. V první části příspěvku je uvedena celková charakteristika projektu a časový průběh řešení. Hlavní část článku je věnována představení nejvýznamnějších výsledků řešení. Větší pozornost je věnována dosud nepublikované realizaci funkčního vzorku. V závěru jsou zhodnoceny celkové výsledky řešení projektu a hlavní publikované výstupy.

Results achieved in the project of the research programme of the Ministry of Agriculture of the Czech Republic in 2015–2018

The Ministry of Agriculture of the Czech Republic announced the extensive research programme NAZV-KUS in 2012. One of the subprograms was devoted to the problems of the areas of the Czech Republic with anthropogenic damage. The Brown Coal Research Institute took part in this programme as the main coordinator of the large research project in 2015–2018. The article briefly summarises final results of the part of the project dedicated to the restoration solved by the Brown Coal Research Institute j.s.c. (VÚHU a.s.). The first part of this article describes general characteristics of the project and its timing. The main part of the article is dedicated to the demonstration of the most important results of the project. The main attention is devoted to the implementation of the previously unpublished functional sample. The conclusions of the article provide complex evaluation of the project results and main published outcomes.

Die Ergebnisse des Braunkohlenforschungsinstituts AG, die bei der Lösung des Projektes von dem Forschungsprogramm des Landwirtschaftsministeriums ČR in Jahren 2015-2018 erreicht wurden

Das Ministerium für Landwirtschaft ČR verkündete im Jahr 2012 das umfangreiche Forschungsprogramm unter der Bezeichnung NAZV-KUS. Ein der Subprogramme wurde der Problematik der anthropogen belasteten Gebieten der Tschechischen Republik gewidmet. Das Forschungsinstitut für Braunkohle a.s. (VÚHU a.s.) schloss sich dem Programm als Träger eines ausgedehnten Forschungsprojektes in Jahren 2015 bis 2018 an. Der Artikel fasst kurz die Gesamtergebnisse der durch das VÚHU gelösten Forschung der Rekultivierungsfragen dieses Projektes zusammen. In dem ersten Teil des Beitrags wird die Gesamtcharakteristik des Projektes und der Zeitablauf der Lösung eingeführt. Der Hauptteil des Artikels ist der Darstellung der bedeutendsten Lösungsergebnisse gewidmet. Eine größere Aufmerksamkeit ist der bislang nicht veröffentlichten Umsetzung einer funktionalen Probe gewidmet. In Schlussfolgerungen werden die Gesamtergebnisse der Projektlösung und die wichtigsten publizierten Outputs bewertet.

Klíčová slova: rekultivace, zemědělství, metodika, půda.

Keywords: restoration, agriculture, methodology, soil.

1 Úvod

V letech 2015–2018 probíhalo řešení projektu č. QJ1520307 „Udržitelné formy hospodaření v antropogenně zatížené krajině“ v rámci programu NAZV-KUS (Národní agentura pro zemědělský výzkum – komplexní udržitelné systémy) Ministerstva zemědělství ČR. Tento projekt, ukončený v roce 2018, se zabýval specifickou problematikou jedné z nejvíce antropogenně zatížených oblastí v České republice, kterou je region Podkrušnohoří zaujímající okresy Chomutov, Most, Teplice a Ústí nad Labem. Jde o krajinu postiženou těžbou hnědého uhlí v oblasti Mostecké pánve a související rozsáhlou průmyslovou činností [5].

Hlavními problémovými okruhy projektu byly optimalizace rekultivačních a revitalizačních prací na výsypkách

Mostecké pánve, pedologické mapování zájmového území, optimalizace využití trvalých travních porostů k produkčním a mimoprodukčním účelům, možnosti sociálně ekonomického rozvoje v antropogenně postižené krajině a vytvoření metodických postupů k trvale udržitelnému hospodaření s půdou v takto postižené krajině.

Nositel projektu byl VÚHU a.s., který se v rámci pěti aktivit (A1502, A1603, A1604, A1605 a A1802) věnoval zejména problematice rekultivací a pedologického mapování. Sociálně ekonomickou oblastí a zemědělskou problematikou se zabýval především spolunositel projektu, kterým je Univerzita J. E. Purkyně. Tématem tohoto příspěvku jsou celkové výsledky výzkumu rekultivační problematiky realizované VÚHU a.s. Výsledky dosažené spolunositelem budou publikovány samostatně.

2 Metodika výzkumných prací realizovaných VÚHU a.s.

Po zhodnocení archivních podkladů o zájmovém území probíhalo terénní mapování jednotlivých lokalit s pomocí půdní sondy. Plochy byly rozčleněny na relativně homogenní oblasti a na nich byly vyhloubeny půdní sondy pro odběr vzorků. V rámci výzkumu byly porovnány půdní parametry 13 pokusných ploch s různým typem rekultivace na různých typech substrátů a ploch ponechaných přirozené sukcesi na různých typech substrátů. Vedle pedologických vlastností byla na vybraných plochách hodnocena i biodiverzita. Výsledky byly využity při přípravě certifikované metodiky. Všechny plochy byly situovány v oblasti Mostecké pánve.

Odběr půdních vzorků byl prováděn z obnažené stěny strojově hloubené půdní sondy, a to pouze z horizontů, které se makroskopicky odlišovaly (zrnitostně, barevně). Množství odebrané zeminy pro jeden vzorek bylo 1-1,5 kg, v případě zastoupení skeletu v zemině nad 20 % se zvyšovalo na 3-5 kg. Místa odběru byla zaznamenávána do pracovní mapy. Při odběru vzorků byla vždy prováděna fotodokumentace. Na vzorcích se hodnotily vlastnosti mineralogické, fyzikálně-mechanické, chemické a pedologické.

Výběr laboratorních zkoušek a analýz jejich výsledků byl stanoven v rozsahu osvědčených metodik dlouhodobě používaných v oblasti Mostecké pánve při rekultivačních činnostech. U každého vzorku bylo realizováno stanovení zrnitosti, hodnocení mineralogického složení na RTG difraktometru Siemens, stanovení půdní reakce, obsahu CaCO_3 , obsahu a kvality oxidovatelného uhlíku a humusu, obsahu dusíku, sorpční schopnosti a 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 ISO/IEC 17025 na základě interních metodických postupů vycházejících z příslušných norem [9]. Některé speciální rozborů (kvantitativní mineralogie a mikroskopie) provedly laboratoře Centra excelence AV Telč.

3 Časový průběh řešení projektu

Projekt byl řešen v letech 2015–2018. Průběh řešení po jednotlivých letech stručně popisuje tato kapitola.

V roce 2015 byla příjemcem - koordinátorem projektu (VÚHU a.s.) řešena v rámci dílčího cíle C001 „Pedologické mapování zájmové oblasti Podkrušnohoří včetně shrnutí dostupných podkladů“ aktivita A1502 „Shrnutí dostupných podkladů a terénní půdní mapování“. V rámci této etapy řešení byly shromážděny mapové podklady a výsledky analýz půdních vzorků z archivu VÚHU a.s., těžebních podniků (Vršanská uhelná a.s., Severní energetická a.s., Severočeské doly a.s.) a Státního okresního archivu Most, Velebudice. Dílčí údaje byly získány i od Palivového kombinátu Ústí s.p., Báňských projektů Teplice a.s. a VŠB TU Ostrava. Rešeršní práce byly doplněny vlastním terénním průzkumem výsypkových lokalit, při kterém probíhal odběr půdních vzorků, přičemž byly orientačně vybrány oblasti vhodné pro založení pokusných

ploch. Při zpracování půdních vzorků byla využita spolupráce laboratoře VÚHU a.s. s laboratoří VÚMOP Praha, v.v.i., pro některé speciální analýzy i s Centrem excelence AV Telč. Hlavním výsledkem této etapy řešení bylo zpracování dílčí výzkumné zprávy, která shrnuje dosažené výsledky mapovacích prací a první výsledky analýz půdních vzorků. Některé dosažené výsledky byly publikovány v recenzovaném časopise.

V roce 2016 byl příjemcem - koordinátorem projektu (VÚHU a.s.) dosažen dílčí cíl C001 aktivity A1603 „Dokončení pedologického mapování zájmové oblasti Podkrušnohoří“ a probíhaly plánované práce na dílčích cílech C002 aktivity A1604 „Zakládání a výzkum pokusných ploch“ a C003 aktivity A1605 „Porovnání rekultivovaných ploch a ploch ponechaných přirozené sukcesi“. V rámci aktivity A1603 byly dokončeny mapovací práce na zájmových antropogenně postižených lokalitách, provedena jejich celková charakteristika a sestaveny pedologické mapové podklady. Výsledkem je dílčí výzkumná zpráva s kompletními mapovými přílohami. V rámci aktivity A1604 bylo založeno 13 pokusných ploch s různou rekultivační historií (stáří, sukcese, rekultivace, případná aplikace rekultivačních substrátů) na různých stanovištích. Plochy byly vybrány tak, aby zahrnovaly všechny situace vyskytující se v zájmové oblasti. Využity byly i starší plochy hodnocené již před zahájením řešení projektu. Na všech plochách proběhla první etapa pedologického výzkumu. Výsledkem je dílčí výzkumná zpráva a samostatné publikace. V rámci aktivity A1605 proběhl výzkum vybraných rekultivovaných a sukcesních ploch s delší dobou vzorkování. Byly srovnány jejich pedologické parametry, přítomnost škodlivin a biologický pokryv. Na základě tohoto porovnání byly předběžně stanoveny některé zásady pro zakládání sukcesních ploch na různých výsypkových lokalitách. Výsledkem je dílčí výzkumná zpráva a samostatné publikace.

V roce 2017 byly řešitelem – koordinátorem dosaženy dílčí cíle C002 aktivity A1604 „Zakládání a výzkum pokusných ploch“ a C003 aktivity A1605 „Porovnání rekultivovaných ploch a ploch ponechaných přirozené sukcesi“. V rámci aktivity A1604 probíhal systematický výzkum 13 pokusných ploch založených v roce 2016. Pokračovalo pedologické mapování a byly odebírány půdní vzorky z jednotlivých stanovišť tak, aby bylo možné hodnotit vývoj antropogenního půdního profilu. U nových ploch byl vyhodnocen vývoj za roky 2015–2017, u několika starších ploch byl vyhodnocen pedologický vývoj plochy za celou dobu zkoumání. Výsledkem je dílčí výzkumná zpráva, 5 publikací a připravený a analyzovaný soubor 24 zkušebních vzorků. V rámci aktivity A1605 byl v souladu s plánem zvýšen počet porovnávaných ploch o 1 sukcesní a 1 rekultivovanou pokusnou plochu. Ty byly založené na dosud nehodnocených hnědých jílech. Celkem tak proběhlo porovnání parametrů tří sukcesních a tří rekultivovaných ploch, ve většině případů dlouhodobě vzorkovaných. Proběhlo porovnání pedologických parametrů, kontaminace škodlivinami a biologického pokryvu. Z vyhodnocení již vyplynuly některé závěry pro přípravu metodiky rekultivace ploch na různých stanovištích, metodiky zakládání sukcesních ploch a geologických parků. Výsledkem je dílčí výzkumná zpráva a 5 publikací (v jednom případě periodikum s IF).

V roce 2018 se příjemce - koordinátor (VÚHU a.s.) zabýval řešením aktivity A1802 „Metodika rekultivace zájmových

ploch a zakládání ploch ponechaných přirozené sukcesi“, která byla součástí plnění dílčího cíle řešení projektu C006 „Nové poznatky udržitelného hospodaření v antropogenně postižené krajině“. Řešitelský tým realizoval pokračování výzkumu založených pokusných a rekultivovaných ploch. VÚHU a.s. dále vytvořil samostatnou část akreditované metodiky v oblasti stanovení optimálního postupu rekultivace různých typů ploch postižených těžbou uhlí, včetně metodiky zakládání sukcesních ploch a geologických parků. Ta zahrnuje veškeré typy ploch vyskytující se v zájmovém regionu projektu. Pro tento účel bylo využito výsledků výzkumu pokusných ploch založených v předchozích etapách řešení projektu. Výsledky byly zpracovány ve formě dle Metodiky RVVI a publikovány v roce 2018. V rámci řešení byl také dokončen funkční vzorek a uzavřena dohoda s uživatelem. Z důvodů propagace projektu a informování regionálních podniků byla organizována rekultivační sekce konference ve Šlovicích.

4 Představení vybraných výsledků řešení projektu

Vzhledem k omezenému rozsahu příspěvku v této kapitole nejsou podrobněji popsány úvodní části výzkumu, z jejichž výsledků vycházely hlavní výstupy projektu. Jde o rešerši dostupných údajů, prvotní pedologické mapování výsypkových lokalit a založení 13 pokusných ploch na různých substrátech. Stručně je zde charakterizováno srovnání rekultivovaných a sukcesních ploch, realizace konference v Ústí nad Labem a příprava certifikované metodiky. Podrobněji je zhodnocena příprava funkčního vzorku, která dosud nebyla publikována.

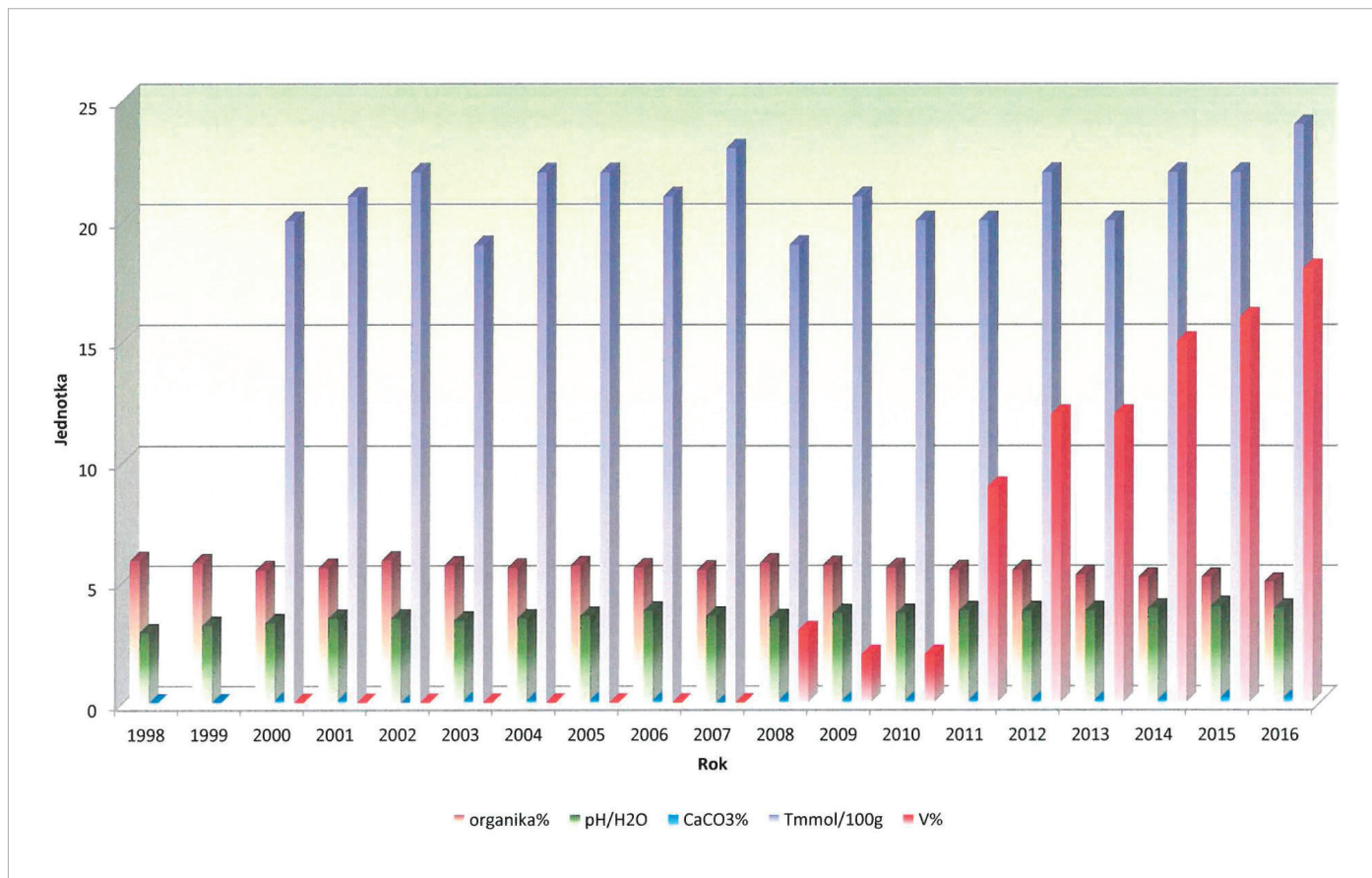
4.1 Srovnání rekultivovaných a sukcesních ploch v podmínkách Mostecké pánve

Pro porovnání vývoje rekultivovaných a sukcesních ploch bylo třeba využít plochy s delší rekultivační historií a dlouhodobým výzkumem. Proto byla vybrána na výsypce Radovesice 1 plocha ponechaná přirozené sukcesi (tvořená převážně rekultivačně vhodnými hnědými nadložními jíly s menšími oblastmi písků) a 1 rekultivovaná plocha (tvořená písčitémi jílovci a písky s aplikací slínů jako zúrodnitelné zeminy). Na výsypce Střimice byla vybrána plocha ponechaná přirozené sukcesi (tvořená fytotoxickými zeminami uhelné slaje) a rekultivovaná plocha (fyto toxické zeminy uhelné slaje s aplikací bentonitu jako zúrodnitelné zeminy). Uvedené plochy se nacházejí v oblasti Dolů Bílina a z hodnocených pokusných ploch mají nejdelší rekultivační historii a dobu výzkumu. Stáří ploch se pohybuje v rozmezí 16-45 let a doba výzkumu v rozmezí 10-20 let.

Srovnání vybraných rekultivovaných a sukcesních ploch

Hodnocené rekultivované a sukcesní plochy byly srovnány z hlediska pedologických vlastností, přítomnosti potenciálních škodlivin a vývoje biologického pokryvu. Největší pozornost byla věnována pedologické problematice.

Pokusná sukcesní plocha Radovesice XVIIIB byla vybrána na základě systematického průzkumu nerektivovaného povrchu výsypky. Tomu odpovídá kvalita zastoupených zemin. Jejich pedologické parametry jsou (s výjimkou malých oblastí písků) velmi vhodné. V průběhu sledování lze konstatovat po-



Obr. 1: Dlouhodobý vývoj půdních parametrů na pokusné ploše Střimice I.



Obr. 2: Situace sukcesní plochy Střimice I v roce 2018.

malé zlepšování půdních vlastností, které je dáno zejména přírůstkem humusu. Z hlediska výskytu rizikových stopových prvků a dalších škodlivin nebyly na plochách zjištěny žádné problémy. Bylinný, keřový a stromový pokryv ploch je na velmi dobré úrovni, dnes již je srovnatelný s rekultivovanými plochami a v bylinném patře dokonce vykazuje vyšší diverzitu. Tyto plochy jsou velmi vhodné pro ponechání přirozené sukcese [7].

Pokusná sukcesní plocha Střimice I je tvořena převážně fytotoxickými zeminami, čímž jsou dány až extrémně nevhodné pedologické vlastnosti zastoupených zemin (jde zejména o obsah uhelné hmoty, síry, sulfidů a extrémně kyselou půdní reakci). Tyto parametry se s ohledem na stáří plochy (cca 45 let) zlepšují jen velmi pomalu. U zemin plochy lze konstatovat poněkud zvýšený obsah arzenu, který je vázán na uhelnou hmotu a sulfidy. Významnější jsou silně zvýšené obsahy síry

Tab. 1: Chemicko-pedologické vlastnosti zemin pokusné plochy Střimice I – dlouhodobý vývoj.

Interval odběru [m]	Nc (%)	Org. látky Cox (%)	CaCO ₃ (%)	pH KCl	Přijatelné živiny [mg.kg ⁻¹]			Sorpční schopnost		
					P	K	Mg	S	T	V (%)
								mmol/100 g		
1998										
S1	-	3,5	-	3,3	-	18	85	3	3	100
S2	-	5,9	-	5,9	-	15	44	-	-	-
2010										
S1	-	3,4	0,1	4,3	1	21	117	4	4	100
S2	-	5,6	0,1	3,7	1	20	49	0	20	0
2017										
S1	-	3,7	0,3	5,0	2	58	185	9	9	100
S2	-	5,0	0,2	3,9	1	35	95	0	24	0

S1 – písčité jílovec s podílem uhelné hmoty (zemina hlinitopísčité)

S2 – uhelný jílovec (zemina hlinitopísčité)

a uhelné hmoty způsobující kyselost zemin. Z nevhodných půdních vlastností plyne i velmi slabý biologický pokryv plochy. Z hlediska výzkumu jde o pozoruhodnou plochu, která je však udržitelná jen s ohledem na minimální plošný rozsah. Obecně by zeminy tohoto typu měly být vždy rekultivovány s využitím rekultivačních aditiv [8].

Rekultivovaná plocha Radovesice III je z pedologického hlediska charakteristická aplikací velké dávky slínů jako rekultivačního aditiva. To způsobilo zejména v počátečních fázích silně zásaditou půdní reakci a zvýšený úhyn výsadby dřevin. Z hlediska výskytu rizikových stopových prvků a dalších škodlivin nebyly na ploše zjištěny žádné problémy. Sortiment a četnost křovin a dřevin jsou dány projektem biologické rekultivace a dlouhodobou péčí. Technická rekultivace s aplikací aditiv je v tomto případě vzhledem k vlastnostem původních výsypkových zemin vhodná, předimenzování dávek slínovce však způsobilo značně nákladnou péči (na základě výzkumu této plochy bylo pro další akce dávkování upraveno).

Rekultivovaná plocha Střimice II je z pedologického hlediska charakteristická aplikací bentonitů do původních fyto-toxických výsypkových zemin. Výsledný půdní profil má z pedologického hlediska vynikající vlastnosti. Z hlediska výskytu rizikových stopových prvků a dalších škodlivin byl na ploše zjištěn mírný nárůst rizikových stopových prvků Co, Cr, Cu, Ni (způsobeno přítomností montmorillonitu), což však pro lesnickou rekultivaci nepředstavuje problém [6]. Sortiment a četnost křovin a dřevin je dán projektem biologické rekultivace a dlouhodobou péčí, úhyn byl v tomto případě minimální. Hodnocená plocha je rekultivovaná optimálním způsobem, v dnešní době by byly problémem tržní ceny bentonitu.

Jako příklad je zde uveden dlouhodobý vývoj významných půdních parametrů na pokusné sukcesní ploše Střimice I. Výsledky ukazují tabulka č. 1 a graf na obrázku č. 1. Současný stav lokality je patrný na obrázku č. 2.

Zásady zakládání sukcesních ploch v podmínkách Mostecké pánve

Vyhodnocením byla zjištěna naprostá odlišnost jednotlivých zkoumaných ploch. Na základě získaných výsledků a zkušeností s dlouholetým výzkumem výsypkových lokalit lze konstatovat mimořádnou pestrost výsypkových zemin Mostecké pánve, která je dána již různou geologickou situací jednotlivých povrchových dolů. Proto je vhodné přistupovat ke každé rekultivované lokalitě individuálně a v podmínkách Mostecké pánve nestanovovat obecně povinné procentuální zastoupení ploch ponechaných přirozené sukcesi.

Situování ploch ponechaných přirozené sukcesi je vhodné stanovit na základě systematického průzkumu každé lokality. Je třeba vycházet z pedologické charakteristiky zemin, morfologie terénu a u starších ploch preferovat stanoviště, kde se již začaly ve specifických podmínkách spontánně vyvíjet funkční ekosystémy [4]. Vhodné je i zachovat většinou maloplošná stanoviště, kde je potřebná ochrana a výzkum některých biologických, geologických a paleontologických jevů. Význam má i předpokládaná možnost zpřístupnění ploch v rámci celkové koncepce rekultivace výsypky. Podíl sukcesních ploch se tak může na jednotlivých lokalitách značně lišit.

Podmínkou úspěšného zakládání ploch ponechaných přirozené sukcesi je součinnost zástupců těžebních organizací, výzkumných institucí a firem realizujících rekultivační práce, a také vyřešení stávajících legislativních problémů [7].

4.2 Uspořádání závěrečné konference projektu

Dalším předmětem řešení projektu bylo uspořádání závěrečné konference projektu s názvem „Udržitelné formy hospodaření v antropogenně postižené krajině“. Ta proběhla ve spolupráci obou řešitelských organizací dne 22. listopadu 2018 v konferenčních prostorách hotelu Clarion v Ústí nad Labem. Hlavními řečníky byli členové řešitelského týmu RNDr. Michal Řehoř, Ph.D., doc. Ing. Petr Vráblík, Ph.D., doc. RNDr. Miroslava Blažková, Ph.D. a Ing. Eliška Wildová. Konference se zúčastnili nejen členové a zaměstnanci řešitelských organizací, ale i odborná a laická veřejnost. Celkem šlo o 46 účastníků různého zaměření. Kromě VÚHU a.s. a FŽP UJEP to byli například OSVČ ze zemědělství, zástupci obecních a městských úřadů a také zaměstnanci soukromých firem (Severní energetická a.s., Bohemia energy atd.).

4.3 Zpracování certifikované metodiky

Ve spolupráci obou řešitelských organizací vznikla certifikovaná metodika nazvaná „Metodika ochrany půdy tvorbou a udržováním trvalých travních porostů a optimalizace rekultivačních postupů v antropogenně zatížené krajině regionu Podkrušnohoří“. VÚHU a.s. v rámci aktivity A1802 vytvořil samostatnou část této metodiky v oblasti stanovení optimálního postupu rekultivace různých typů ploch postižených těžbou uhlí, včetně metodiky zakládání sukcesních ploch a geologických parků.

Motivem zpracování předkládané metodiky byla potřeba sjednocení metodických postupů při tvorbě antropogenních půdních profilů v podmínkách Mostecké pánve, která je zásadní součástí technické rekultivace výsypkových a lomových lokalit. Nutnost tvorby této metodiky byla dána velmi pestrým a v mnoha případech silně nepříznivým charakterem výsypkových zemin zakládaných na vnějších a vnitřních výsypkách Mostecké pánve určených k rekultivaci. Tato metodika, která je předkládána v souladu s projektem č. QJ1520307 programu NAZV-KUS, zahrnuje všechny předpokládané varianty úpravy území včetně svahů zbytkových jam. Díky tomu se stane součástí plánování rekultivačních prací v oblastech Mostecké pánve zasažených těžební činností.

Tvorba antropogenních půdních profilů v podmínkách Mostecké pánve má určitá specifika. Obecně je předpokládán značný rozsah lesnické rekultivace, poněkud menší rozsah zemědělské rekultivace (dáno sklonem svahů výsypek) a dosti velký rozsah rekultivace ostatní. Tu představují především plochy určené pro rekreační využití, plochy určené k hydrické rekultivaci a v menší míře plochy ponechané přirozené sukcesi. Pozornost je věnována i legislativní problematice zakládání těchto ploch.

Lesnická rekultivace bude probíhat na značné ploše a na různých půdních stanovištích. Častý bude výskyt silně písčitých zemin a hnědých, nadložních terciérních jílu, vzácné budou fyto toxické zeminy a extrémně zrnitostně těžké jíly. Výskyt

vypálených jílů lze prakticky vyloučit, starší plochy s těmito zeminami jsou již rekultivované a další těžba se nepředpokládá.

V rámci řešení výzkumného projektu byly vypracovány následující metodické postupy:

- a) metodika tvorby antropogenních půdních profilů při lesnické rekultivaci
- metodika tvorby antropogenních půdních profilů na fytotoxických zeminách (2 varianty)
- metodika tvorby antropogenních půdních profilů na silně písčitéch zeminách a píscích
- metodika tvorby antropogenních půdních profilů na hnědých jílech včetně jílů prachovitých
- metodika tvorby antropogenních půdních profilů na texturálně těžkých terciérních jílech
- b) metodika tvorby antropogenních půdních profilů při zemědělské rekultivaci
- c) metodika výběru ploch ponechaných přirozené sukcesi
- d) metodika zakládání geologických parků.

Metodika získala certifikát Ministerstva zemědělství ČR (osvědčení č. 7/14130-MZe-2018), bylo jí přiděleno ISBN a v současnosti se připravuje její vydání knižní formou. Po publikaci bude rozdána organizacím zabývajícím se rekultivační činností v zájmovém regionu.

4.4 Realizace funkčních vzorků

Smyslem tvorby funkčního vzorku je vytvoření optimálního rekultivačního substrátu pro plochy postižené těžbou hnědého uhlí se zhoršenými rekultivačními vlastnostmi. Metodika tvorby funkčních vzorků zatím nebyla publikována, proto je jí v příspěvku věnována větší pozornost.

Po zvážení situace Mostecké pánve byly jako vhodné zúrodnitelné zeminy přes určité nevýhody zvoleny spraše a bentonity. V případě spraší je nevýhodou výrazný úbytek potenciálních nových lokalit. K dispozici jsou však deponie o značné kapacitě (zejména na Slatinické výsypce, oblasti DB a ČSA) a s rozšířením limitů těžby v oblasti lomu Bílina se otevírá možnost dalšího průzkumu. V případě bentonitů je nevýhodou vysoká cena suroviny. Pro tvorbu rekultivačních směsí však lze využít i bentonit nízké kvality a surovinu lze aplikovat v případě maloplošných, silně problémových lokalit.

V úvahu přicházely dále slíny a slínovce, jejich deponie je ale po rekultivaci výsypky Radovesice prakticky vyčerpaná a pedologické parametry suroviny jsou málo vhodné. V případě ornice jsou sice pedologické parametry vynikající, suroviny je však do směsí „škodna“. Využívá se výhradně v rámci zemědělské rekultivace pro převrstvení výsypkové zeminy.

Jako vhodné výsypkové zeminy do směsí se zúrodnitelným substrátem byly vybrány směsné výsypkové zeminy a pisky. Jsou na rekultivovaných lokalitách velmi hojně zastoupeny a právě v tomto případě může být aplikace rekultivačních směsí maximálně efektivní.



Obr. 3: Průzkum ložisek spraší v předpolí lomu Bílina.

V úvahu dále přicházely fytotoxické zeminy. V tomto případě je však vzhledem k jejich toxicitě efektivnější jejich přímé převrstvení. V případě hnědých kaolinicko illitických jílu je naopak jejich půdní kvalita natolik vysoká, že rekultivační aditiva nejsou nutná. Aplikace navrhovaných funkčních vzorků (rekultivačních směsí) je z hlediska kvality antropogenního půdního profilu mnohem efektivnější než prosté převrstvování.

Parametry zdrojových zemín, metodika analýz a charakteristika čtyř realizovaných funkčních vzorků je uvedena v následujících kapitolách.

4.4.1 Přehled parametrů výchozích zemín

Základní charakteristika směsné výsypkové zeminy:

Jde o heterogenní směs písčitých až jílovitohlinitých hornin libkovického souvrství. Z mineralogického hlediska se objevuje křemen, z jílových minerálů převažuje kaolinit nad illitem, karbonáty se vyskytují jen výjimečně. Horniny se vyznačují neutrální až slabě alkalickou půdní reakcí, z přijatelných živin lze označit za nízký obsah fosforu, sorpční schopnost půdy je nízká až střední. Fyzikální i hydrofyzikální půdní vlastnosti těchto zemín po vytěžení a nasypání jsou sice příznivé, ale časově velmi proměnné. V poměrně krátké době u nich dochází k výraznému zhoršení uvedených půdních charakteristik. Zemina vykazuje nízkou erozní stabilitu, která se zhoršuje se stoupajícím obsahem písku.

Základní charakteristika písků:

Jejich zdrojem jsou četné písčité čocky libkovického souvrství. Z hlediska fyzikálních i chemických vlastností mohou být značně heterogenní, často obsahují i značný podíl jílovitých příměsí. V případě obsahu výraznějšího podílu prachových částic jde o kuřavkové písky, které mají extrémně nepříznivé hydrofyzikální půdní vlastnosti. Zabarvení písku v původním stavu bývá značně proměnlivé. V minerálním složení výrazně převládá křemen. Mají velmi nízký obsah přijatelných živin, velmi nízkou sorpční schopnost půdy, jsou bezkarbonátové a ve většině případů neobsahují toxické příměsi. Půdní reakce může být neutrální až silně kyselá (v případě poloh vyskytujících se nad uhelnou slojí). Vykazují velmi špatnou erozní stabilitu.

4.4.2 Přehled parametrů rekultivačních substrátů

Základní charakteristika spraší:

Spraše tvoří rekultivačně vysoce využitelné zeminy kvartérního geologického původu. V jejich zrnitostním složení převažuje podíl prachových částic nad jílovitými. Půdní reakce je slabě alkalická, obsah CaCO_3 vždy činí cca 5%. Sorpční schopnost horniny je střední až vysoká v závislosti na výskytu jílových minerálů. Obsah přijatelných živin (fosforu, draslíku a hořčíku) i organické hmoty je porovnatelný se sprašovými hlínami.

V případě spraší je nevýhodou výrazný úbytek potenciálních nových lokalit. K dispozici jsou však rozsáhlé deponie (Slatinická výsypka, oblast ČSA, Bílina) a s rozšířením limitů těžby v oblasti lomu Bílina se otevírá možnost dalšího průzkumu. Spraše v oblasti předpolí lomu Bílina ukazuje obrázek č. 3.

Základní charakteristika bentonitu:

Terciární bentonitické horniny tvoří přírodní sorbenty velmi dobře rekultivačně využitelné při úpravě deficitních výsypkových zemín (půdní reakce, sorpční schopnosti, hydrofyzikální vlastnosti). Tyto meliorační hmoty se odlišují od výsypkových zemín především obsahem montmorillonitu. Dalším kritériem je obsah CaCO_3 , který se pohybuje v rozmezí 1,5 % (bentonity) až 18,5 % (tufigy) a zastoupením zrnitostní kategorie do 0,01 mm, která tvoří u tufigů 31 % a u bentonitů 64 % celkového obsahu. Půdní reakce ve vodním výluhu je slabě alkalická až alkalická, sorpční schopnost horniny je velmi vysoká.

V současnosti je aplikace tohoto typu rekultivačního aditiva při úpravě lokalit Mostecké pánve vzhledem k cenové náročnosti suroviny omezená. Lze však využít i bentonit nízké kvality a surovinu lze využít v případě maloplošných problémových lokalit.

4.4.3 Metodika tvorby funkčních vzorků

Při tvorbě zkušebních vzorků byly vytvořeny směsi výsypková zemina – rekultivační aditivum s měnícím se podílem rekultivačního aditiva (0%, 20%, 40%, 60%, 80% a 100%). Celkem tedy bylo vytvořeno a analyzováno vždy 5 vzorků (celkem 20 vzorků).

V rámci analýzy hodnocených směsí byl proveden jejich makroskopický popis, zrnitostní analýza a soubor chemicko – pedologických analýz (půdní reakce, obsah Cox, CaCO_3 , Nc, přijatelných živin P, K, Mg a sorpční schopnost). Příprava směsí, zrnitostní analýza a většina chemicko – pedologických analýz vzorků byla realizována v laboratořích VÚHU a.s., stanovení sorpce a přijatelných živin bylo realizováno v laboratořích VÚMOP, v.v.i. Výsledky udávají tabulky č. 2 – 5.

4.4.4 Základní charakteristika jednotlivých funkčních vzorků

V rámci řešení byly vytvořeny 4 funkční vzorky. Jejich základní charakteristika je uvedena v této kapitole. Vzhledem k omezenému rozsahu článku jsou zde uvedeny pouze chemicko – pedologické parametry směsí.

Funkční vzorek č. 1 - rekultivační směs spraše a směsných výsypkových zemín

Při tvorbě zkušebních vzorků byly vytvořeny směsi směsná výsypková zemina – spraš s měnícím se podílem rekultivačního aditiva (0%, 20%, 40%, 60% a 100%). Celkem tedy bylo vytvořeno a analyzováno 5 vzorků. Výsledky ukazuje tabulka č. 2.

Lze doporučit aplikaci směsi s obsahem 40 – 60 % spraše na rozsáhlejších plochách výsypkových zemín s vyšším obsahem písku bez kontaminace uhelnou hmotou.

Funkční vzorek č. 2 - rekultivační směs spraše a písků

Při tvorbě zkušebních vzorků byly vytvořeny směsi písek – spraš s měnícím se podílem rekultivačního aditiva (0%, 20%, 40%, 60% a 100%). Celkem tedy bylo vytvořeno a analyzováno 5 vzorků. Výsledky ukazuje tabulka č. 3.

Lze doporučit aplikaci směsi s obsahem 60 – 80 % spraše na

Tab. 2: Chemicko-pedologické vlastnosti směsi spraše a směsné výsypkové zeminy.

Procentuelní zastoupení spraše ve vzorku	Nc (%)	Org. látky Cox (%)	CaCO ₃ (%)	pH KCl	Přijatelné živiny [mg.kg ⁻¹]			Sorpční schopnost		
					P	K	Mg	S	T	V (%)
								mmol/100 g		
0	0,02	1,7	0,4	6,6	5	225	553	13	13	100
20	0,03	1,7	0,7	6,8	4	223	560	13	13	100
40	0,05	1,6	1,1	6,8	6	235	612	15	15	100
60	0,06	1,4	2,3	6,9	5	250	650	17	17	100
80	0,06	1,4	3,8	7,0	5	251	733	17	17	100
100	0,06	1,2	4,7	7,2	5	255	811	15	15	100

Tab. 3: Chemicko-pedologické vlastnosti směsi spraše a písku.

Procentuelní zastoupení spraše ve vzorku	Nc (%)	Org. látky Cox (%)	CaCO ₃ (%)	pH KCl	Přijatelné živiny [mg.kg ⁻¹]			Sorpční schopnost		
					P	K	Mg	S	T	V (%)
								mmol/100 g		
0	0,0	0,6	0,0	5,6	0	87	123	4	4	100
20	0,1	0,8	0,3	5,8	1	111	211	7	7	100
40	0,3	0,7	0,6	6,2	1	125	343	8	8	100
60	0,2	0,7	1,3	6,6	3	139	478	11	11	100
80	0,3	0,7	2,9	6,7	4	168	563	12	12	100
100	0,4	0,7	4,9	7,2	4	201	622	15	15	100

Tab. 4: Chemicko-pedologické vlastnosti směsi bentonitu a směsného výsypkového substrátu.

Procentuelní zastoupení bentonitu ve vzorku	Nc (%)	Org. látky Cox (%)	CaCO ₃ (%)	pH KCl	Přijatelné živiny [mg.kg ⁻¹]			Sorpční schopnost		
					P	K	Mg	S	T	V (%)
								mmol/100 g		
0	0,02	1,8	0,5	6,5	5	218	545	13	13	100
20	0,04	1,6	0,7	6,6	5	235	611	15	15	100
40	0,06	1,4	1,1	6,8	7	311	632	18	18	100
60	0,06	1,1	1,5	6,9	8	322	723	19	19	100
80	0,08	1,1	2,0	6,9	8	345	811	24	24	100
100	0,10	0,9	2,8	7,0	8	370	876	23	29	100

Tab. 5: Chemicko-pedologické vlastnosti směsi bentonitu a písku.

Procentuelní zastoupení bentonitu ve vzorku	Nc (%)	Org. látky Cox (%)	CaCO ₃ (%)	pH KCl	Přijatelné živiny [mg.kg ⁻¹]			Sorpční schopnost		
					P	K	Mg	S	T	V (%)
								mmol/100 g		
0	0,00	0,8	0,0	5,5	0	88	448	5	5	100
20	0,02	0,8	0,5	5,6	2	235	213	8	8	100
40	0,04	0,7	0,9	6,4	4	311	353	10	10	100
60	0,04	1,0	1,1	6,6	5	322	516	15	15	100
80	0,07	1,1	2,0	6,8	6	345	711	21	21	100
100	0,10	0,8	2,8	7,0	8	370	883	29	29	100

rozsáhlejších písčitých plochách bez kontaminace uhelnou hmotou.

Funkční vzorek č. 3 - rekultivační směs bentonitu a směsné výsypkové zeminy

Při tvorbě zkušebních vzorků byly vytvořeny směsi směsná výsypková zemina – bentonit s měnicím se podílem rekultivačního aditiva (0%, 20%, 40%, 60% a 100%). Celkem tedy bylo vytvořeno a analyzováno 5 vzorků. Výsledky ukazuje tabulka č. 4.

Lze doporučit aplikaci směsi s obsahem 40 % bentonitu na méně rozsáhlých plochách s vyšším obsahem písku a se slabší kontaminací uhelnou hmotou.

Funkční vzorek č. 4 - rekultivační směs bentonitu a písků

Při tvorbě zkušebních vzorků byly vytvořeny směsi písek – bentonit s měnicím se podílem rekultivačního aditiva (0%, 20%, 40%, 60% a 100%). Celkem tedy bylo vytvořeno a analyzováno 5 vzorků. Výsledky ukazuje tabulka č. 5.

Lze doporučit aplikaci směsi s obsahem 60 % bentonitu na méně rozsáhlých písčitých plochách se slabší kontaminací uhelnou hmotou.

O využití těchto funkčních vzorků projevilo předběžný zájem několik místních firem zabývajících se rekultivačními pracemi.

5 Závěr

Článek shrnuje hlavní výsledky výzkumu rekultivační problematiky řešené v rámci úkolu č. QJ1520307 programu NAZV-KUS Ministerstva zemědělství ČR.

V první části příspěvku je shrnut časový průběh řešení. Výsledky rekultivační problematiky projektu, řešené VÚHU a.s., byly založeny na dlouhodobém hodnocení 13 pokusných rekultivovaných a sukcesních ploch. V hlavní části článku jsou představeny nejvýznamnější oblasti řešení projektu, kterými jsou porovnání parametrů rekultivovaných a sukcesních ploch, příprava certifikované metodiky a realizace funkčního vzorku.

Za nejvýznamnější výstupy projektu realizované VÚHU a.s. lze považovat vypracování certifikované metodiky (ve spolupráci s Univerzitou J. E. Purkyně), realizaci funkčního vzorku, 2 publikace v impaktovaných časopisech (druhá momentálně v tisku), 9 příspěvků v mezinárodní databázi SCOPUS, 9 příspěvků v recenzovaných časopisech a řadu ostatních publikací.

Výsledky projektu a zkušenosti získané v průběhu výzkumu přispějí k úspěšnému řešení provozních problémů při rekultivaci lokalit oblasti Mostecké pánve.

Poděkování

Článek byl publikován s podporou programu NAZV-KUS Ministerstva zemědělství, v rámci řešení projektu QJ1520307 „Udržitelné formy hospodaření v antropogenně zatížené krajině“.

Literatura

- [1] ČERMÁK, P., ONDRÁČEK, V.: Rekultivace antropozemí výsypek v oblasti severočeské hnědouhelné pánve. Hodnotící zpráva, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, 2006.
- [2] FRAŠTIA, M., ŘEHOŘ, M.: Zahlazování následků hornické činnosti – rekultivace výsypky Radovesice. Sborník 53. konference Hornická Příbram ve vědě a technice, říjen 2014, ISBN 978-80-904993-5-5.
- [3] ONDRÁČEK, V., ŘEHOŘ, M., ŠAFÁŘOVÁ, M., LANG, T.: Historie, Gegenwart und Perspektiven der Rekultivierung auf dem Gebiet des Bergbaubetriebes Doly Bílina. Časopis Surface Mining - Braunkohle, 1: s. 90-100, SRN, ISSN 0931 – 3990, 2003.
- [4] PRACH, K., BARTHA, S., JOICE, C., PYŠEK, P., DIGGELEN, R., WIEGLEB, G.: The role of spontaneous vegetation succession in ecosystem restoration: a perspective Appl. Veg. Sci. 4 (2001) 111–114.
- [5] ŘEHOŘ, M.: Rekultivace krajiny postižené těžbou hnědého uhlí se zaměřením na tvorbu antropogenních půdních profilů. Disertační práce doktorského studia, Ostrava, 2007.
- [6] ŘEHOŘ M., ŠAFÁŘOVÁ, M., ONDRÁČEK, V.: Application of Some Coal Treatment Products for Reclamation of Localities in the North Bohemian Basin. 21th Pittsburg Coal Conference, Osaka, Japonsko, 2004.
- [7] ŘEHOŘ, M., ŽIŽKA, L., NOVÁK, V., SCHMIDT, P., FRAŠTIA, M.: Research of the Most Basin localities optimum restoration methodology based on comparison of long term survey of the areas with a different history of restoration and natural succession areas. SGEM Conference Proceedings “Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems”, VOLUME XVII, p. 453–460, ISBN 978-619-7408-05-8, ISSN 1314-2704, DOI:10.5593/sgem2017/32, Albena, Bulgaria 2017.
- [8] 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, ISSN 1213-1660.
- [9] Zkušební laboratoř č. 1078: Interní metodické předpisy ZL VÚHU a.s. Most, IMP zkušební laboratoř.
- [10] HAVELCOVÁ, M., MACHOVIČ, V., SÝKOROVÁ, I., LAPČÁK, L., ŠPALDOŇOVÁ, A., MACH, K., DVOŘÁK, Z.: Duxite - fossil resin of Miocene age. Organic Geochemistry, 124, pp. 190–204, 2018.
- [11] HAVLENA, V.: Geology of Coal Deposits. Praha, 1964.
- [12] JURASKY, K.A.: Der Veredlungszustand der sudetenländischen Braunkohlen als Folge vulkanischer Durchwärmung. Mitteilungen der Reichsstelle für Bodenforschung, 20, pp. 54–75, 1940.
- [13] KEELING, C.I., BOHLMANN, J.: Diterpene resin acids in conifers. Phytochemistry, 67, pp. 2415–2423,

- 2006a.
- [14] KEELING, C.I., BOHLMANN, J.: Genes, enzymes and chemicals of terpenoid diversity in the constitutive and induced defence of conifers against insects and pathogens. *New Phytology*, 170, pp. 657–675, 2006b.
- [15] KRUMBIEGEL, G.: Duxite, fossil resin? *Przegląd Geologiczny*, 50, pp. 237–239, 2002.
- [16] KUHLEIN, F.L.: Influence of volcanic heat on the rank of Bohemian brown coal. *Fuel*, 30, pp. 25–30, 1951.
- [17] LANGENHEIM, J.H.: *Plant Resins: Chemistry, Evolution, Ecology, and Ethnobotany*. Timber Press Inc, pp. 141–194, 2003.
- [18] MACH, K., ŽÁK, K., TEODORIDIS, V., KVAČEK, Z.: Consequences of Lower Miocene CO₂ degassing on geological and paleoenvironmental settings of the Ahníkov/Merkur Mine paleontological locality (Most Basin, Czech Republic). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, 285 (3), pp. 235–266, 2017.
- [19] MATYS GRYGAR, T., MACH, K., SCHNABL, P., PRUNER, P., LAURIN, J., MARTINEZ, M.: A lacustrine record of the early stage of the Miocene Climatic Optimum in Central Europe from the Most Basin, Ohře (Eger) Graben, Czech Republic. *Geological Magazine*, 151, pp. 1013–1033, 2014.
- [20] MURCHISON, D.G.: Properties of coal macerals: infrared spectra of resinites and their carbonized and oxidized products. In: Gould, R.F. (Ed.), *Coal Science*. American Chemical Society, *Advances in Chemistry Series*, 55, pp. 307–331, 1966.
- [21] MURCHISON, D.G., JONES, J.M.: Resinite in bituminous coals. *Advances in Organic Geochemistry*, 55, pp. 49–69, 1964.
- [22] OTTO, A., SIMONEIT, B.R.T., WILDE, V., KUNZMANN, L., PÜTTMANN, W.: Terpenoid composition of three fossil resins from Cretaceous and Tertiary conifers. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 120, pp. 203–215, 2002.
- [23] OTTO, A., WILDE, V.: Sesqui-, di-, and triterpenoids as chemosystematic markers in extant conifers – a review. *The Botanical Review*, 67, pp. 141–238, 2001.
- [24] PACLT, J.: A system of caustolites. *Tschermaks mineralogische und petrographische Mitteilungen*, 3, pp. 332–347, 1953.
- [25] PHILP R.P.: *Fossil fuel biomarkers*. Elsevier, 1985.
- [26] STACH, E.: Der Resinit und seine biochemische Inkohlung. *Fortschritte in der Geologie von Rheiland und Westfalen*, Krefeld, pp. 921–968, 1966.
- [27] SUHR, P.: The Bohemian Massif as a Catchment Area for the NW European Tertiary Basin. *Geolines*, 15, pp. 147–159, 2003.
- [28] TAPPERT, R., MCKELLAR, R.C., WOLFE, A.P., TAPPERT, M.C., ORTEGA-BLANCO, J., MUEHLENBACHS, K.: Stable carbon isotopes of C₃ plant resins and ambers record changes in atmospheric oxygen since the Triassic. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 121, pp. 240–262, 2013.
- [29] TAPPERT, R., WOLFE, A.P., MCKELLAR, R.C., TAPPERT, M., MUEHLENBACHS, K.: Characterizing modern and fossil gymnosperm exudates using micro-Fourier transform infrared spectroscopy. *International Journal of Plant Sciences*, 172, pp. 120–138, 2011.
- [30] TEODORIDIS, V., SAKALA, J.: Early Miocene conifer macrofossils from the Most Basin (Czech Republic). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, 250, pp. 287–312, 2008.
- [31] VÁVRA, N.: The chemistry of amber – facts, findings and opinions. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, 111, pp. 445–474, 2009.
- [32] VÁVRA, N., BOUŠKA, V., DVOŘÁK, Z.: Duxite and its geochemical biomarkers (“chemofossils”) from Bilina open-cast mine in the North Bohemian Basin (Miocene, Czech Republic). *Neues Jahrbuch Für Geologie Und Palaontologie-Monatshefte*, 4, pp. 223–243, 1997.
- [33] ZELENKA, O.: Fossil resins in the North Bohemian Basin. *Zprávy a studie Okresního vlastivědného muzea Teplice*, 8, pp. 19–28, 1972.
- [34] ZELENKA, O.: The problem of the origin of duxite in the North Bohemian Brown-coal Basin. *Časopis pro Mineralogii a Geologii*, 27, pp. 295–299, 1982.
- [35] ZUBRIK, A., ŠAMAN, D., VAŠÍČKOVÁ, S., SIMONEIT, B.R.T., TURČÁNIOVÁ, L., LOVÁS, M., CVAČKA, J.: Phyllocladane in brown coal from Handlová, Slovakia: Isolation and structural characterization. *Organic Geochemistry*, 40, pp. 126–134, 2009.