

Výsypka Radovesice – příklad úspěšné rekultivace v podmínkách 21. století

Radovesice spoil heap - an example of successful reclamation under the conditions of the 21st century / Die Radovesice Kippe – ein Beispiel der erfolgreich durchgeführten Rekultivierung unter Bedingungen des 21. Jahrhunderts

RNDR. MICHAL ŘEHOŘ, PH.D.¹, ING. ARNOŠTKA KOSTKOVÁ², MILAN FRAŠTIA²,
ING. PAVEL SCHMIDT¹

¹Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most

²Severočeské doly a.s.

Přijato: 25. 2. 2022, recenzováno: 5. a 23. 5. 2022

ABSTRAKT

Významným úkolem těžební společnosti Severočeské doly a.s. je obnova ekologické stability území plošně zasažených těžbou hnědého uhlí. Příkladem takové aktivity může být úspěšná rekultivace výsypky Radovesice, jejíž metodika již reflektuje nové požadavky tohoto století. Příspěvek shrnuje historii, současnost a perspektivy lokality. Důraz je kladen na výsledky dlouhodobého výzkumu rekultivovaných a sukcesních ploch z hlediska pedologického a biologického. Hodnocena je úspěšnost aplikace slínů a pozornost je věnována i eliminaci případných rizik včetně klimatické změny. Úspěšnost rekultivace a některé významné výsledky výzkumu včetně rozsáhlé fotodokumentace jsou prezentovány v tomto článku.

An important task of the mining company Severočeské doly a.s. is to restore the ecological stability of the areas affected by brown coal mining. An example of such an activity can be the successful reclamation of the Radovesice spoil heap, the methodology of which already reflects the new requirements of this century. The article summarizes the history, present, and perspectives of the site. Emphasis is placed on the results of long-term research of reclaimed and successive areas from a pedological and biological point of view. The success of marl application is evaluated and attention is given to the elimination of potential risks, including climate change. The success of reclamation and some significant research results, including extensive photo documentation, are presented in this article.

Eine bedeutende Aufgabe der Bergbaugesellschaft Severočeské doly a.s. ist der Wiederaufbau der umweltfreundlichen Stabilität von flächendeckenden, durch Braunkohlenbergbau betroffenen Geländen. Ein Beispiel einer solchen Aktivität kann die erfolgreiche Rekultivierung der Radovesice Kippe sein, deren Methodik bereits neue Anforderungen dieses Jahrhunderts berücksichtigt. Der Beitrag fasst die Geschichte, die Gegenwart sowie auch Perspektiven der Lokalität zusammen. Der Akzent ist auf die Ergebnisse der langjährigen Forschung von rekultivierten sowie auch sukzessiven Flächen aus der Sicht der Pädologie und Biologie gelegt. Es wird der Erfolg von Applikationen der Mergelböden bewertet und die Aufmerksamkeit ist auch der Eliminierung von etwaigen Risiken, einschl. dem Klimawandel gewidmet. In diesem Artikel werden der Erfolg der Rekultivierung sowie auch einige bedeutende Forschungsergebnisse einschl. der umfangreichen Fotodokumentation präsentiert.

Klíčová slova: rekultivace - historie - přirozená sukcese - metodika - rizika
Keywords: reclamation - history - natural succession - methodology - risks

1 | ÚVOD

Dnešní doba přináší nové výzvy a požadavky i na rekultivační práce. Ty musejí vyhovovat potřebám obyvatel těžbou dotčených regionů, přizpůsobovat se ekonomickým i ekologickým tlakům a novým výsledkům výzkumu i odolávat různým rizikovým faktorům. Příkladem může být rekultivace výsypky Radovesice realizovaná Severočeskými doly a.s. Vzhledem k rozloze výsypky, problematickému charakteru původních výsypkových zemin, velmi náročné technické rekultivaci s využitím slínů, promyšlenému založení ploch ponechaných přirozené sukcesi a dlouhodobému pedologickému a biologickému výzkumu jde rozhodně o jednu z nejvýznamnějších rekultivačních akcí v České republice.

Výsypka Radovesice je největší výsypkou Severočeských dolů a.s. a druhou největší českou výsypkou. Její budování začalo v roce 1964. Je situována

do katastrálního území osad Radovesice, Kostomlaty a Světec. Zakládání skrývkových zemin zde bylo ukončeno v roce 2003 a v současnosti je prakticky dokončena i technická rekultivace.

Příspěvek shrnuje historii, současnost a perspektivy rekultivace výsypky Radovesice. Vlastní rekultivace probíhala v 17 etapách již od roku 1986. Byla pokračováním tří etap úprav navazující výsypky Jirásek, kde převládala zemědělská rekultivace. Hlavní pozornost je věnována uplatnění moderních rekultivačních technologií, především vývoji aplikace slínů do svrchního horizontu výsypky, pedologickému a biologickému hodnocení výzkumných ploch dlouhodobě ponechaných přirozené sukcesi, metodice jejich zakládání v podmínkách výsypky a definování rizik rekultivačního procesu včetně případných dopadů klimatické změny. Úspěšnost rekultivace a některé významné výsledky výzkumu

Tab. 1: Celková plocha a způsob rekultivace jednotlivých rekultivačních etap. [2]

Etapa rekultivace	Celková plocha	Zemědělská	Lesnická	Hydrická	Ostatní
			[ha]		
etapa I	30,40		30,40		
etapa II	110,40		11,45	0,70	98,25
etapa III	52,00		49,40		2,60
etapa IVA	8,98		8,98		
etapa IVB	27,70		27,70		
etapa V	8,92				8,92
etapa VI	44,36		16,41	0,47	27,48
etapa VII	82,75		45,19		37,56
etapa VIII	116,33	67,44	48,48		0,41
etapa IX	75,76	51,90	19,73		4,13
etapa X	93,45		32,74	2,52	58,19
etapa XIA	5,74				5,74
etapa XIB	56,23		9,73	0,75	45,75
etapa XII	85,23		58,48	1,83	24,92
etapa XIII	96,06		16,66	1,38	78,02
etapa XIV	50,74		21,13	0,90	28,71
etapa XVA	6,81				6,81
etapa XVB	5,39				5,39
etapa XVI	5,66			0,08	5,68
etapa XVIIA	19,51*			1,09	18,42
etapa XVIIIB	33,90*			1,17	32,73

* výzkumná plocha ponechaná dlouhodobě přirozené sukcesi (včetně spontánně vzniklých vodních ploch)

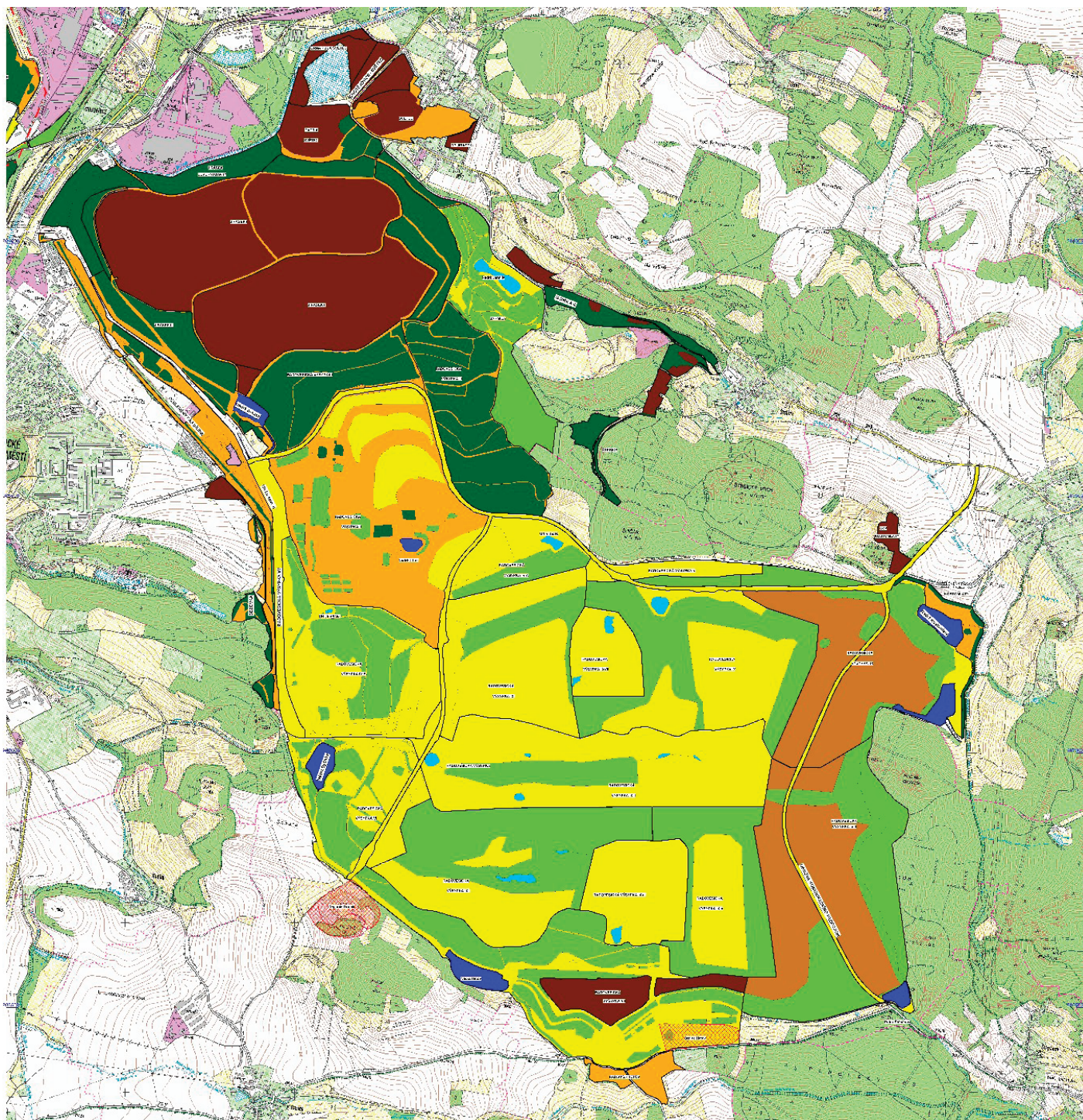
jsou prezentovány v tomto článku, dokumentuje je i rozsáhlá fotodokumentace.

2 | HISTORIE ZAKLÁDÁNÍ A REKULTIVACE VÝSYPKY RADOVESICE

Radovesické údolí se nacházelo východně od města Bíliny. Archeologické záznamy dokazují lidské osídlení už od neolitu a doby bronzové [2]. Radovesice byly křižovatkou, odkud vedly cesty do Kostomlat, Razic, Dřínku, Hetova, Štěpánova, Bíliny a Světce. Projekt výsypky Radovesice vznikl v roce 1966, vlastní zakládání bylo zahájeno v letech 1969–1970. Obec Radovesice zanikla v letech 1968–1971, obec Hetov v letech 1969–1971 a obec Dřínek v letech 1969–1975 [2]. Zakládání zemin na výsypku Radovesice bylo ukončeno v roce 2003. Pedologická charakteristika skrývkových zemin lomu Bílina zakládaných na povrch výsypky byla dosti nepříznivá. Převládaly prakticky sterilní a z hlediska stability nebezpečné písky, méně zastoupeny byly rekultivačně poměrně vhodné prachovité jíly a jen výjimečně se objevily fytotoxické zeminy slojových vrstev.

První etapa rekultivace výsypky Radovesice byla zahájena lesnickou rekultivací v roce 1986 (30 ha), kdy již byly využity slíny při tvorbě prokořeněného horizontu. V rámci následující druhé etapy byla na ploše 120 ha vytvořena rozsáhlá deponie slínů využívaná i po přesypání těžebny do roku 2010. Následovaly etapy Radovesice III – Radovesice XVII. S výjimkou pokusných ploch ponechaných přirozené sukcesi (Radovesice XVII) byly ve všech případech využity pro tvorbu prokořeněného horizontu slíny. Metodika jejich aplikace se vyvíjela na základě výsledků výzkumných prací. Místo původní vrstvy 0,6 m bylo v posledních letech aplikováno pouze 0,2 – 0,3 m a důraz byl kladen na jejich zapravení do povrchu terénu [1]. Pro zemědělskou rekultivaci byla využita ornice skrytá z povrchu původního terénu a umístěná na deponii Hetov. V posledních letech byly na tělese výsypky vybudovány a pro veřejnost zpřístupněny komunikace Bílina – Kostomlaty a Bílina – Razice.

Dvě plochy o rozloze 20 ha a 32 ha (Radovesice XVIIA a Radovesice XVIIIB) byly ponechané pokusně přirozené sukcesi. Jde dnes o největší sukcesní plochy v Mostecké pánvi a jedny z největších v ČR.



Obr. 1: Schematická mapa rekultivovaných ploch výsypek Jirásek a Radovesice.

Tabulka 1 ukazuje celkovou plochu a způsob rekultivace jednotlivých rekultivačních etap. Schematická mapa jednotlivých rekultivovaných ploch výsypek Jirásek a Radovesice je ukázána na obrázku č. 1.

Na obrázku č. 1 je hnědě vyznačena zemědělská rekultivace, zeleně lesnická rekultivace, žlutě ostatní rekultivace a modře hydrická rekultivace. Vysoký podíl lesnické a ostatní rekultivace je dán tím, že výsypka Radovesice je určena především jako rekreační oblast pro město Bílina. Zemědělská rekultivace je soustředěna na starší, navazující výsypce Jirásek.

3 | METODIKA VÝZKUMU

Cílem výzkumu bylo hodnocení úspěšnosti technické a biologické rekultivace, hodnocení ploch ponechaných přirozené sukcesi a definování možných budoucích rizik. Proto bylo třeba využít plochy s delší rekultivační historií a dlouhodobým výzkumem. Na výsypce Radovesice byly vybrány dvě různě staré rekultivované plochy s různou metodikou aplikace slínů a dvě různě staré plochy ponechané přirozené sukcesi. Sukcesní plochy byly vybrány již v roce 2000 na základě pedologického mapování v oblastech s výskytem rekultivačně nej kvalitnějších zemín.

V rámci pedologického výzkumu bylo na všech plochách realizováno terénní mapování s aplikací průzkumné sondy a odběr vzorků na vybraných sondážních bodech. Odběr půdních vzorků byl prováděn z obnažené stěny 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.

Výběr laboratorních zkoušek a analýz jejich výsledků byl stanoven v rozsahu osvědčených metod dlouhodobě v Mostecké pánvi používaných při rekultivačních činnostech [9]. U každého vzorku bylo realizováno stanovení zrnitosti, hodnocení mineralogického složení na RTG difraktometru Siemens, stanovení půdní reakce, stanovení obsahu CaCO_3 , stanovení obsahu a kvality oxidovatelného uhlíku a humusu, stanovení obsahu dusíku, stanovení sorpční schopnosti a stanovení obsahu přijatelných živin dle Melich III.

Biologický výzkum byl realizován na plochách ponechaných přirozené sukcesi. Proběhlo na nich mapování rostlinného a živočišného zastoupení a v rámci řešení bakalářských a diplomových prací studentů PřFUK a UJEP [3,7] bylo provedeno i fytoocenologické snímkování. Na všech zkoumaných plochách byla vyhodnocena pokryvnost. Starší fytoocenologické snímky již byly publikovány [5].

V rámci hodnocení rizik byly stanoveny a srovnány obsahy škodlivin v zeminách všech pokusných ploch. Byl stanoven obsah síry, organické (uhelné) hmoty, půdní reakce a obsah vybraných rizikových stopových prvků. Dále bylo zhodnoceno riziko klimatické změny a možná adaptační opatření.

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

4 | STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA POKUSNÝCH PLOCH

Pro hodnocení rekultivačních prací byly vybrány dvě rekultivované plochy (Radovesice I a Radovesice VI) a dvě plochy ponechané přirozené sukcesi (Radovesice XVIIA a Radovesice XVIIIB).

Plocha Radovesice I

Pokusná rekultivovaná plocha Radovesice I o rozloze cca 30 ha byla založena na jedné z prvních ploch rekultivovaných s využitím slínů a slínovců. Tato plocha byla založena již roku 1991 a je tak nejstarší sledovanou pokusnou plochou v oblasti Mostecké pánve. Původní výsypkovou zeminu tvořily písčité jíly a písky. Jde o plochu, kde byla aplikována původní, nemodifikovaná metoda aplikace slínů a slínovců dle původní metodiky dr. E. Fišery z Báňských projektů Teplice [1].

Tab. 2: Pedologické parametry antropogenního půdního profilu - Radovesice I.

Interval odběru vzorku [m]	Nc (%)	Org. látky Cox (%)	CaCO ₃ (%)	pH KCl	Přijatelné živiny [mg.kg ⁻¹]			Sorpční schopnost		
					P	K	Mg	S	T	V
1991										
0,00-0,20	0,2	2,4	5,2	7,0	8	232	812	13	13	100
0,20-0,50	-	0,5	16,3	8,0	1	106	100	10	10	100
0,50-1,00	-	1,9	3,5	6,1	2	150	198	6	6	100
2010										
0,00-0,20	0,04	1,9	4,1	7,0	5	235	880	14	14	100
0,20-0,50	0,01	1,1	11,2	7,6	2	186	311	10	10	100
0,50-1,00	-	1,8	4,1	6,7	2	145	210	9	9	100
2015										
0,00-0,20	0,06	2,1	4,0	7,1	6	242	885	17	17	100
0,20-0,50	0,04	1,2	10,3	7,5	3	180	315	14	14	100
0,50-1,00	-	1,8	4,1	6,7	2	175	235	10	10	100
2021										
0,00-0,20	0,06	2,2	3,7	7,2	7	245	878	17	17	100
0,20-0,50	0,04	1,2	9,8	7,3	4	201	321	13	13	100
0,50-1,00	-	1,6	4,1	6,7	2	184	215	10	10	100



Obr. 2: Situace plochy Radovesice XVII B v době založení (2000). (Foto: M. Řehoř)



Obr. 3: Situace plochy Radovesice XVII B na podzim 2021. (Foto: M. Řehoř)

Tab. 3: Pedologické parametry antropogenního půdního profilu - Radovesice VI.

Interval odběru vzorku [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]		(%)
2010										
0,00-0,20	0,02	1,9	7,8	7,6	5	212	810	14	14	100
0,20-0,60	-	0,8	6,3	6,5	1	145	652	10	10	100
2015										
0,00-0,20	0,08	2,2	7,3	7,2	6	240	873	17	17	100
0,20-0,60	0,04	1,3	6,2	6,3	3	185	785	14	14	100
2021										
0,00-0,20	0,10	2,3	7,1	7,1	6	235	875	17	17	100
0,20-0,60	0,06	1,5	6,2	6,3	3	215	711	15	15	100

Meliorace povrchu výsypky Radovesice byla v oblasti pokusné plochy zahájena návozem 0,3 m slínovců na určenou plochu a zaoráním pluhem do hloubky 0,5-0,7 m. Orbou se na povrch opět dostaly původní výsypkové zeminy, ty byly následně překryty 0,3 m slínovců a zaorány do hloubky 0,7-1,0 m. Tímto způsobem se dařilo vytvořit finální směsný prokořeněný horizont o reálné hloubce 0,6-1,0 m [1]. První úpravy části plochy výsypky byly dokončeny na jaře 1991. V současnosti se zde nachází vzrostlá lesnická rekultivace.

Plocha Radovesice VI

Pokusná rekultivovaná plocha Radovesice VI o rozloze cca 44 ha byla založena v západní části Radovesické výsypky. Byla zde již použita modifikovaná metodika aplikace slínů. Na povrch terénu byla navezena vrstva slínů o mocnosti 0,2-0,3 m a ta byla zaorána do hloubky až 0,5 m. Původní výsypkovou zeminu tvořily písčité jíly a písky.

V současnosti jde o členitou, velmi estetickou plochu s vyváženým podílem lesnické rekultivace,



Obr. 4: Nově vytvořená rekultivační krajina (Radovesice VI, nádrž Syčivka). (Foto: M. Řehoř)

Tab. 4: Pedologické parametry antropogenního půdního profilu - Radovesice XVIIA.

Interval odběru vzorku [m]	Nc (%)	Org. látky Cox (%)	CaCO ₃ (%)	pH KCl	Přijatelné živiny [mg.kg ⁻¹]			Sorpční schopnost		
					P	K	Mg	S [mmol/100 g]	T	V (%)
2004										
0,00-0,60	0,05	2,1	0,4	6,8	2	184	724	15	15	100
2010										
0,00-0,60	0,08	2,5	0,5	6,8	3	330	860	17	17	100
2015										
0,00-0,60	0,06	2,4	0,6	6,9	3	325	844	16	16	100
2021										
0,20-0,60	0,11	2,8	0,6	6,8	8	361	880	17	17	100

Tab. 5: Pedologické parametry antropogenního půdního profilu - Radovesice XVIIIB.

Interval odběru vzorku [m]	Nc (%)	Org. látky Cox (%)	CaCO ₃ (%)	pH KCl	Přijatelné živiny [mg.kg ⁻¹]			Sorpční schopnost		
					P	K	Mg	S [mmol/100 g]	T	V (%)
2004										
0,00-0,60	0,04	2,0	0,5	6,7	3	165	755	15	15	100
2010										
0,00-0,60	0,06	2,4	0,5	6,8	2	284	820	16	16	100
2015										
0,00-0,60	0,06	2,4	0,6	6,8	3	310	840	16	16	100
2021										
0,20-0,60	0,10	2,6	0,5	6,8	6	315	855	17	17	100

zatravnění a hydrické rekultivace (vodní nádrž Syčivka). Její aktuální situace je zobrazena na obrázcích č. 6 a 7.

Plocha Radovesice XVIIA

Pokusná sukcesní plocha Radovesice XVIIA o rozloze cca 20 ha byla vybrána v severní části výsypky. Převládajícím zeminovým typem je zde heterogenní výsypková směs hnědého jílu, šedého jílovce a šedého písčitého jílovce se zvýšeným obsahem hnědého jílu. Objevují se i hnědošedé kaoliniticko-illitické jíly. Jižní hranici plochy tvoří oblast „písečných dun“. V území jsou také dvě velké přirozené vodní nádrže a několik malých vodních ploch a mokřadů. Některé malé vodní plochy přecházejí v průběhu roku do formy mokřadů. Stáří plochy činí cca 31 let.

V současnosti již jde o členitou estetickou plochu s několika spontánně vzniklými trvalými vodními plochami. Její aktuální situace je ukázána ve fotodokumentaci.

Plocha Radovesice XVIIIB

Sukcesní plocha Radovesice XVIIIB o rozloze 32 ha byla vybrána v jižní části výsypky. Zeminové slože-

ní svrchního horizontu je obdobné jako v případě plochy XVIIA. Ve východní části plochy jsou významněji zastoupeny písčité zeminy, které tvoří přirozenou hranici plochy. Vyskytuje se zde řada přirozených vodních ploch a mokřadů menšího rozsahu. Stáří plochy činí cca 21 let.

V současnosti již jde o členitou estetickou plochu s četnými spontánně vzniklými trvalými vodními plochami. Vývoj a současný stav plochy ukazují obrázky č. 2 a 3.

5 | VÝSLEDKY PEDOLOGICKÉHO VÝZKUMU ZÁJMOVÝCH PLOCH

Pedologický výzkum probíhá dlouhodobě na všech pokusných plochách. Na každé z nich je jednou ročně připraven směsný vzorek tvořený 6 vzorky odebranými z průzkumných sond. Směsné vzorky jsou dopraveny do akreditovaných laboratoří VÚHU a.s. a VÚMOP, v.v.i, kde je realizován soubor analýz dle metodiky uvedené v kapitole 3. Charakteristické výsledky pro jednotlivé plochy ukazují tabulky 2-5. Délka sledování je dána stářím plochy.



Obr. 5: Lesnická rekultivace na jižních svazích výsypky. (Foto: M. Řehoř)

Cílem výzkumu rekultivovaných ploch bylo závěrečné posouzení úspěšnosti aplikace slínů a slínovců. Je třeba konstatovat, že tyto sedimenty jsou velmi netradiční a nepříliš kvalitní rekultivační zemínou, a jejich využití bylo dáno především dostupností (tvoří přirozené podloží výsypky), nízkými náklady a potřebou stabilizace písčitého výsypkového tělesa. O to větší nároky byly kladeny na správnou metodiku aplikace.

Podle původní metodiky byla aplikace zahájena návozem 0,3 m slínovců na určenou plochu a zaoráním pluhem do hloubky 0,5-0,7 m. Orbou se na povrch opět dostaly původní výsypkové zeminy, ty byly znovu překryty 0,3 m slínovců a zaorány do hloubky 0,7-1,0 metrů. Příkladem je pokusná plocha Radovesice I. Po prvních zkušenostech byla metodika zjednodušena a upravena. Na většinu plochy výsypky byla navážena vrstva 0,2-0,3 m slínu a ta byla pluhem zapravena do povrchu. Příkladem je pokusná plocha Radovesice VI.

Výsledky jsou patrné z tabulek 2 a 3. Původní metodika stabilizovala povrch terénu, vedla však k velmi vysokému obsahu CaCO_3 v půdním horizontu a k dlouhodobému zvýšení pH (silně zásaditá půdní reakce). Upravené, snížené dávky slínu jsou pro stabilizaci terénu postačující a chemicko-pedologické parametry výsledné směsi jsou mnohem vhodnější. Podmínkou je kvalitní zaorání slínu.

V současnosti již funguje kvalitní lesnická rekultivace na obou zkoumaných plochách Radovesice I a Radovesice VI, na starší ploše s vyššími dávkami slínů to však bylo vykoupeno podstatně delší a nákladnější pěstební péčí. Z dnešního pohledu je třeba hodnotit aplikaci slínů na výsypce jako zcela výjimečnou a zejména po úpravě dávkování velmi úspěšnou rekultivační akci.

Cílem výzkumu sukcesních ploch bylo zmapovat dlouhodobý přirozený vývoj půdních vlastností zemin. Výsledky jsou součástí dokumentace ploch. Z tabulek 4 a 5 je patrné, že poslední roky je svrchní horizont ploch z pedologického hlediska již stabilizovaný a kvalitou se prakticky vyrovná povrchu rekultivovanému. Je však třeba zdůraznit, že plochy ponechané přirozené sukcesi byly vybrány na základě důkladného pedologického průzkumu v místech s výskytem nejkvalitnějších zemin s nízkým obsahem písčité složky.

6 | VÝSLEDKY BIOLOGICKÉHO VÝZKUMU ZÁJMŮVÝCH PLOCH

Biologický výzkum proběhl pouze na sukcesních plochách se spontánním růstem flóry (vhodným sortimentem dřevin na rekultivovaných plochách se zabývá následující kapitola). Vzhledem k omezenému rozsahu článku jsou zde jako příklad uvedeny výsledky dosažené na ploše Radovesice XVIIA.



Obr. 6: Sukcesní plocha Radovesice XVIIA - celková situace. (Foto: P. Schmidt)



Obr. 7: Sukcesní plocha Radovesice XVIIA - celková situace. (Foto: M. Řehoř)

Fytocenologické snímkování proběhlo na ploše Radovesice XVIIA podobně jako v uplynulých letech v rámci realizace diplomových a bakalářských prací studentů PŘFUK a UJEP [3,7]. Výsledky byly srovnány s hodnocením starší rekultivované plochy. V roce 2021 byl realizován 1 fytocenologický snímek v oblasti rekultivačně vhodných zemín. Byl zde nalezen celkový počet 29 druhů rostlin, z toho 21 bylinných druhů a 8 dřevin. Na ploše nebyl prováděn žádný osev ani výsadba, přesto je pokryvnost bylinného patra E1 dnes odhadována na 98 %. Veškerý pokryv tedy vznikl přirozenou sukcesí. Zastoupeny jsou dva expanzivní druhy – *Phragmites australis* a *Calamagrostis epigejos*. Výskyt ale nijak výrazně nepřevyšuje početnost ostatních rostlin. Pouze na sukcesních plochách (nikoliv na rekultivovaných) se vyskytly *Epilobium angustifolia*, *Geum urbanum*, *Hieracium*, *Pyrola minor* a *Festuca ovina*.

Přítomné dřeviny jsou většinou anemochorní (*Acer platanooides*, *Betula pendula*, *Picea abies*, *Pinus silvestris*), ale vyskytují se i druhy zoochorní (*Carpinus betulas*, *Crataegus sp.*, *Prunus avium*, *Rosa canina*).

Keřové patro E2 tvoří pouze 2 dřeviny (*Betula pendula* a *Salix caprea*). Totožné druhy jsou přítomné i ve stromovém patře, výčet v patře E3 doplňuje *Populus canadensis*.

Fytocenologický snímek zájmové oblasti na ploše Radovesice XVIIA ukazuje tabulka 6. Druhově se plocha jeví jako stabilizovaná, zvýšila se však pokryvnost bylinného, keřového i stromového patra, což odpovídá i vlhčímu roku 2021.

Situace fauny na zájmové ploše Radovesice XVIIA byla orientačně zmapována pracovníky VÚHU a.s. Vyskytují se zde hojní zástupci z třídy hmyz (*Insecta*), řádu ptáci (*Aves*) a savci (*Mammalia*). Mezi zástupce hmyzu vyskytujícího se na této sukcesní ploše patřily především tyto řády: brouci (*Coleoptera*) - čeledi kovaříkovití (*Elateridae*), střevlíkovití (*Carabidae*), slunéčkovití (*Coccinellidae*), tesaříkovití (*Cerambycidae*), mandelinkovití (*Chrysomelidae*); řád vážky (*Odonata*), řád motýli (*Lepidoptera*), řád sítokřídlí (*Neuroptera*), dvoukřídlí (*Diptera*), řád rovnokřídlí (*Orthoptera*) a řád blanokřídlí (*Hymenoptera*). Z ptáků (*Aves*) zde bylo možné nalézt káně lesní (*Buteo buteo*), koroptev polní (*Perdix perdix*), bažanta obecného (*Phasianus colchicus*), kosa černého (*Turdus merula*), červenku obecnou (*Erithacus rubecula*), pěnkavu obecnou (*Fringilla coelebs*). Z třídy savců byl zaznamenán výskyt zajíce polního (*Lepus europaeus*), hraboše (*Microtus arvalis*), prasete divokého (*Sus scrofa*), srnce obecného (*Capreolus capreolus*). Ojedinělý je poměrně hojný výskyt a pravděpodobné hnízdění bělořita šedého (*Oenanthe oenanthe*). Podobně jako v případě flóry se situace plochy jeví druhově jako stabilizovaná.



Obr. 8: Sukcesní plocha Radovesice XVIIIB - celková situace. (Foto: M. Řehoř)

Tab. 6: Fytocenologický snímek oblasti 3 na ploše Radovesice XXVIA.

Plocha – sukcese	Radovesice XXVIA	Stav k 8/2021
<i>Acer platanoides</i> - r	<i>Betula pendula</i> – 2	<i>Betula pendula</i> - 2
<i>Astragalus glycyphyllos</i> - 1	<i>Salix caprea</i> - 2	<i>Populus canadensis</i> - 2
<i>Betula pendula</i> – 1		<i>Salix caprea</i> - 2
<i>Calamagrostis epigejos</i> - 2		
<i>Carpinus avium</i> ef. - +		
<i>Crataegus</i> sp.- +		
<i>Daucus carota</i> - +		
<i>Epilobium angustifolia</i> eg. - r		
<i>Epilobium</i> sp.- +		
<i>Festuca rubra</i> agg. - 1		
<i>Fradaria vesca</i> - +		
<i>Geum urganum</i> - +		
<i>Hieracium</i> - +		
<i>Chaerophyllum temulum</i> - r		
<i>Lotus corniculatus</i> - +	Plocha 3 - sukcese	
<i>Phragmites australis</i> - 1	Pokryvnost E1 – 98%	
<i>Picia abies</i> - +	Pokryvnost E2 – 42%	
<i>Pinus silvestris</i> – r	Pokryvnost E3 – 35%	
<i>Prunus avium</i> ef. - r		
<i>Pyrola minor</i> – 1		
<i>Quercus petraea</i> - +		
<i>Rosa canina</i> - r		
<i>Rubus fruticosus</i> agg. - +		
<i>Sorbus aucuparia</i> - r		
<i>Taraxacum</i> sect. <i>ruderalia</i> - 1		
<i>Trifolium repens</i> - +		
<i>Tussilago farfara</i> - 1		
<i>Veronica officialis</i> - r		
<i>Vicia hirsuta</i> - r		

Pozn.: E1 – bylinné patro, E2 – keřové patro, E3 – stromové patro

7 | HODNOCENÍ PŘÍPADNÝCH RIZIK OHROŽUJÍCÍCH ÚSPĚŠNOST REKULTIVAČNÍCH PRACÍ

Významným rizikem pro značně nákladné rekultivační práce může být ekonomický propad v případě překotného ukončení těžby hnědého uhlí. To ale není předmětem tohoto článku, kromě toho pro výsypku Radovesice není vzhledem k pokročilé fázi rekultivace toto riziko příliš akutní. Dalšími riziky může být obsah případných škodlivin v zeminách a eventuální vliv klimatické změny.

Rizika potenciálního výskytu škodlivin

Ukazatelem výskytu škodlivin v zeminách zájmových pokusných ploch bylo stanovení obsahu vy-

braných rizikových stopových prvků, obsahu celkového obsahu síry, organické (uhelné) hmoty, stanovení půdní reakce a přítomnosti sulfidů. Stanovení obsahu rizikových stopových prvků As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn, Hg bylo provedeno v akreditovaných laboratořích VÚHU a.s. metodou atomové absorpční spektrometrie [10] (po provedení rozkladu půd lučavkou královskou a ve výluhu 2 mol. l-1 HNO3). Další analýzy byly realizovány v souladu s kapitolou 3 tohoto příspěvku.

Pro vyhodnocení výsledků byla aplikována vyhláška č. 153/2016 Sb., o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé

podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu, kde jsou uvedeny tzv. preventivní hodnoty obsahů rizikových prvků v zemědělské půdě (pro běžné půdy). Je třeba konstatovat, že pro lesní půdy nebyly limitní hodnoty legislativně stanoveny.

V rámci této práce byl na každé pokusné ploše analyzován 1 směsný vzorek z každého makroskopicky odlišitelného horizontu. Výsledky udávají tabulky 7 a 8.

Z výsledků plyne, že na žádné z hodnocených ploch výsypky Radovesice nebyly zjištěny významněji zvýšené obsahy rizikových stopových prvků ani dalších škodlivin. Je to dáno charakterem původních zemín výsypky (převážně písky a písčité jíly, výskyt fyto toxických uhelných jíků minimální) i charakterem rekultivačního aditiva (použité slíny a slínovce výše popsané škodliviny neobsahují). Oproti výsypce Střimice je tedy riziko výskytu škodlivin na výsypce Radovesice minimální, průběžný monitoring však bude pokračovat.

Potenciální rizika pokračování klimatické změny

Nejde o specifický problém výsypky Radovesice, týká se všech rekultivovaných lokalit Mostecké pánve. Výzkumem případných dopadů klimatické změny na těžbu a rekultivace se v rámci projektu EU TEXMIN zabývá dlouhodobě VÚHU a.s. Řada výsledků již byla publikována.

Stručně lze konstatovat jednoznačný vzestup teplot minimálně od roku 1960. Tento trend bude pokračovat do 30. let tohoto století a pravděpodobně i dále. Dopady na těžbu jsou malé a ani rekultivace nebudou zásadně ovlivněny. Mnohem závažnější jsou pro rekultivace dopady změn srážek.

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

Tab. 7: Obsah rizikových stopových prvků v zemínách zájmových ploch.

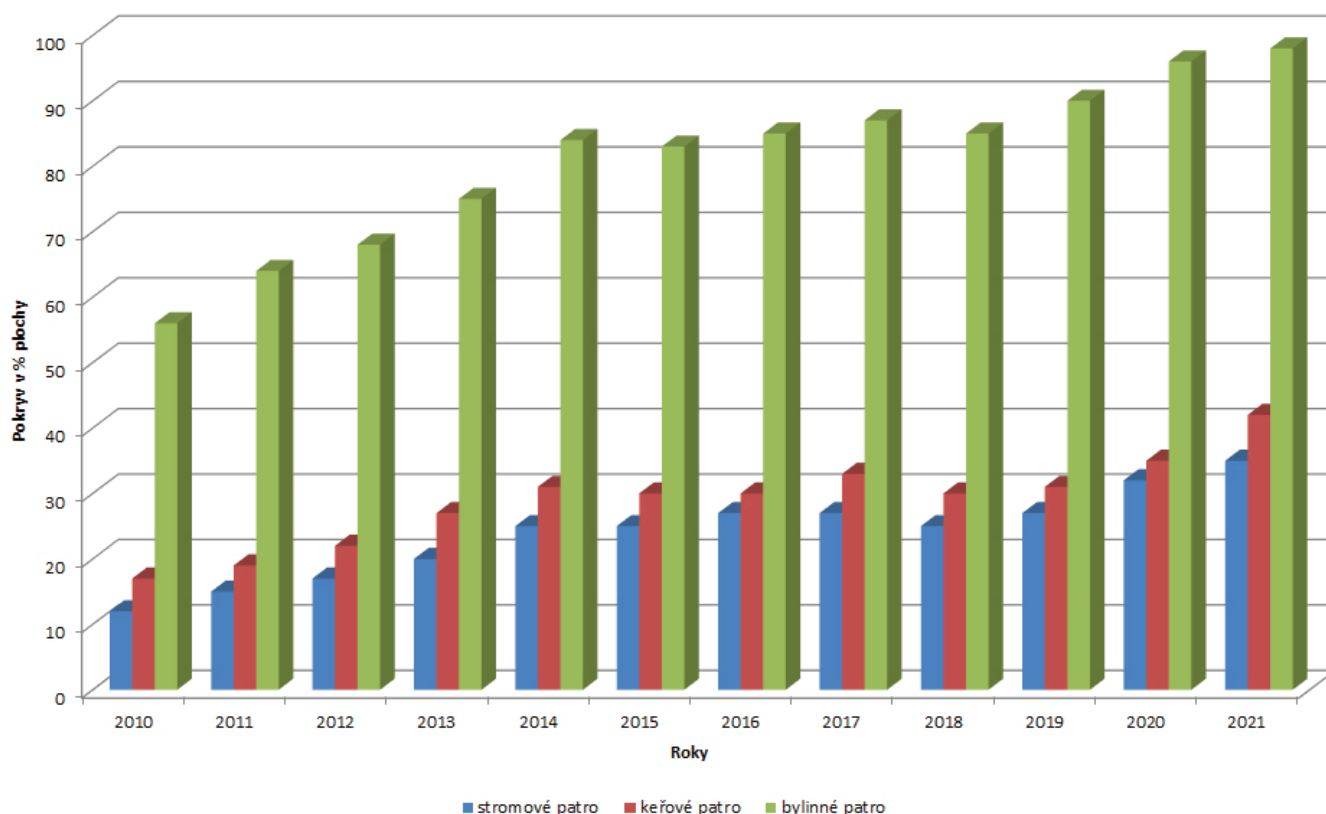
Lokalita	Obsah ve vzorku [mg.kg ⁻¹]											
	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn	Hg
Radovesice XVIIIA	7,0	2,8	0,18	16,8	21,4	27,5	0,85	37,3	30,1	88,3	51,3	0,18
Radovesice XVIIB	8,9	2,5	0,21	18,8	20,6	26,8	1,25	35,8	37,3	55,4	52,7	0,21
Radovesice I												
0,00-0,20	12,5	2,2	0,25	21,5	232,7	22,6	1,50	32,5	34,8	74,8	27,5	0,14
0,20-0,50	3,7	1,9	0,12	12,3	78,5	8,3	0,64	18,5	18,5	38,0	8,2	0,12
0,50-1,00	8,8	2,1	0,14	14,5	18,5	21,5	0,99	29,3	11,7	44,2	35,1	0,23
Radovesice VI												
0,00-0,20	12,6	2,0	0,25	17,3	33,5	19,8	0,57	32,1	27,6	75,6	49,4	0,15
0,20-0,60	7,5	1,9	0,20	15,5	50,7	43,3	1,62	42,5	22,5	101	56,2	0,22
Vyhláška č. 153/2016	20	2	0,5	30	90	60	-	50	60	130	120	0,3

Pozn.: u rtuti jde o celkový obsah.

Tab. 8: Další škodliviny v zemínách zájmových ploch.

Lokalita interval odběru [m]	S (%)	Organika (%)	pH KCl	Přítomnost sulfidů Fe
Radovesice XVIIIA	0,05	2,2	6,8	NE
Radovesice XVIIB	0,06	2,1	6,9	NE
Radovesice I				
0,00-0,20	0	2,2	6,9	NE
0,20-0,50	0	1,5	7,3	NE
0,50-1,00	0,11	1,8	6,8	NE
Radovesice VI				
0,00-0,20	0	2,1	6,9	NE
0,20-0,60	0,07	1,7	6,1	NE

Závislost biologického pokryvu v % plochy v letech 2010 - 2021



Obr 9: Časový vývoj biologického pokryvu sukcesní plochy Radovesice XVIIIA.

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

Přes určitou nejistotu v prognózách vývoje srážek je varováním velmi suchá perioda 2015-2019 s extrémně suchým rokem 2018. Ta způsobila úhyn sazenic doložitelný na řadě lesnických rekultivovaných lokalit. Suchá perioda je patrná i na výsledcích výzkumu biologického pokryvu realizovaného na sukcesní ploše Radovesice XVIIIA (viz obrázek č. 9).

Období 2015-2019 je pro zásadnější závěry příliš krátké, v případě pokračování tohoto trendu však bude suchem postižených rekultivačních lokalit přibývat. Dlouhodobě by mohly náklady na rekultivace extrémně vzrůst vzhledem k nákladům na dosadby a k potřebě radikální změny rekultivační metodiky. Na základě těchto poznatků již Severočeské doly a.s. přistoupily k prvním adaptačním opatřením.

Byla doporučena úprava způsobu vyžínání, na exponovaných plochách by tráva mohla sazenice částečně chránit a eliminovalo by se poškození sazenic sekačkami a křovinořezy. Dále by bylo vhodné při dosadbě v rámci pěstební péče preferovat druhy

odolnější proti suchu. V případě pokračování trendu suchých období bude třeba druhy odolné proti suchu preferovat již v projektech biologické rekultivace, a zvláště na jílovitých zeminách zvážit aplikaci substrátů zlepšujících zasakovací schopnost půdy. Posouzení odolnosti dřevin běžně užívaných v Mostecké pánvi vzhledem k horku a suchu již bylo publikováno [8]. Popsaná opatření se pochopitelně týkají i výsypky Radovesice.

8 | POSTUP ZAKLÁDÁNÍ SUKCESNÍCH PLOCH NA VÝSYPCE RADOVESICE A DALŠÍCH LOKALITÁCH SD A.S.

V roce 2000 proběhl rozsáhlý pedologický průzkum nerekultivované části výsypky Radovesice (tehdy cca 600 ha) realizovaný pracovníky VÚHU a.s. a VÚMOP, v.v.i. Na jeho základě byly vytipovány pokusné plochy Radovesice XVIIIA a Radovesice XVIIIB pro ponechání přirozené sukcese. Kritériem byly pedologické vlastnosti výsypkových zemin, které byly na vybraných plochách nejvhodnější, a dále počínající vývoj spontánně vzniklých ekosystémů. Od založení ploch po současnost probíhá dlouhodobý výzkum jejich pedologické a biologické situace. Vedle těchto rozsáhlejších ploch jsou do funkční rekultivace začleňována maloplošná stanoviště, jako jednotlivé kvalitní dřeviny nebo drobné mokřady (viz obrázek č. 10).



Obr. 10: Ostrůvky sukcese zachované na nové rekultivaci. (Foto: M. Řehoř)



Obr. 11: Připomínka zaniklých obcí. (Foto: M. Řehoř)



Obr. 12: Exkurze studentů Univerzity J. A. Purkyně na výsypce Radovesice. (Foto: M. Řehoř)

Popsaný postup zakládání sukcesních ploch, realizovaný na výsypce Radovesice, by měl být modelový i pro další rekultivované lokality SD a.s. Dlouhodobým výzkumem byla prokázána značná vzájemná odlišnost a pestrost výsypkových zemín, která je dána již různou geologickou situací obou povrchových dolů. Proto je vhodné přistupovat ke každé rekultivované lokalitě individuálně a nestanovovat obecně povinné procentuální zastoupení ploch ponechaných přirozené sukcesi.

Cílem rekultivačních prací v podmínkách SD a.s. je rekonstrukce a pokud možno i zkvalitnění původní krajiny před poškozením těžební činností. Zakládání ploch ponechaných přirozené sukcesi proto nepatří mezi hlavní rekultivační metody využívané SD a.s. V případě jejich promyšleného, na základě průzkumu realizovaného, založení ve vhodných podmínkách jsou však vhodným a velmi estetickým oživením nově vzniklé krajiny (viz fotodokumentace). Podrobnější srovnání rekultivace a sukcese v rámci celé Mostecké pánve již bylo popsáno v poměrně rozsáhlém příspěvku [6].

9 | ZÁVĚR

Článek hodnotí historii výsypky Radovesice, metodiku jejího dlouholetého výzkumu, metodu a zdůvodnění alikace slínů jako rekultivačního aditiva včetně postupné úpravy této metodiky. Popsán je

i způsob založení a dlouhodobý vývoj ploch ponechaných přirozené sukcesi, výsledky dlouhodobého výzkumu jednotlivých pokusných ploch a zhodnocení současných potenciálních rizik včetně klimatické změny.

V současnosti je prakticky dokončená technická rekultivace a významně rozpracovaná biologická rekultivace lokality. Do budoucna město Bílina s výsypkou počítá především jako s rekreační oblastí. Pro celé těleso výsypky je zpracován plán rekultivační a revitalizace. Lesy v západní části jsou zakládány jako půdoochranné, příměstské a ke krátkodobé rekreaci. Členitá náhorní plošina bude tvořena lesem a loukami.

Každá plocha má určeno budoucí využití a mnohé dílčí projekty se již realizují. Jsou zde plochy určené pro hospodářský les, rekreační les, zemědělskou činnost, cyklotrasy, naučné stezky, sportovní aktivity a výhledové louky s výkladovými tabulemi. Součástí bude i kemp u vodní nádrže Kostomlaty. V současné době je vytvořen i myslivecký a rybářský revír pro území výsypky a nedávno bylo dokončeno silniční propojení přes výsypku z Bíliny do Kostomlat, Štěpánova a Razic. Založené sukcesní plochy tvoří již dnes estetický krajinný prvek.

Na pokusných plochách stále probíhá výzkum, který ovlivňuje metodiku rekultivace. Příkladem může být zásadní změna metodiky aplikace slínů

v průběhu technické rekultivace nebo současná reakce na nebezpečí zvýšeného výskytu suchých období. Postup rekultivace byl oceněn zahraničními odborníky (např. Bergakademie Freiberg) a lokalita je využívána jako případová studie ve významných výzkumných projektech Ministerstva zemědělství ČR i Evropské unie (NAZVA – KUS, TEXMIN). Vybrané plochy jsou cílem četných exkurzí středoškolských i vysokoškolských studentů. Podle názoru autorů příspěvku může proto výsypka Radovesice sloužit jako modelová lokalita při plánování budoucích velkých rekultivačních akcí.

Autoři věnují příspěvek památce dnes již zesnulých kolegů Ing. E. Fišery (BP Teplice) a Ing. P. Čermáka, CSc. (VÚMOP, v.v.i. Praha), kteří měli na této rekultivační akci významný podíl.

PODĚKOVÁNÍ

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

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, ISBN 978-80-904993-5-5, Příbram, říjen 2014.
- [3] RÁCOVÁ, K.: Srovnání pedologických vlastností zemin rekultivovaných ploch a ploch pokusně ponechaných přirozené sukcesí v oblasti Mostecké pánve. Diplomová práce, Fakulta životního prostředí, UJEP Ústí nad Labem, 2015.
- [4] ŘEHOŘ, M.: Rekultivace krajiny postižené těžbou hnědého uhlí se zaměřením na tvorbu antropogenních půdních profilů. Disertační práce doktorského studia, Ostrava, 2007.
- [5] ŘEHOŘ, M., SCHMIDT, P.: Aktuální pedologická problematika rekultivovaných lokalit SD a.s. Zpravodaj Hnědé uhlí, 2/2020, s. 18–25, ISSN 1213-1660, VÚHU a.s., Most.
- [6] ŘEHOŘ, M.; JAROLIMOVÁ, M.; ŽIŽKA, L.; VRÁBLÍK, P.; VRÁBLÍKOVÁ, J.: The Results of the Long-Term Research on the Development of Anthropomorphic Soil in the Reclaimed and Successive Areas of the Most Basin in Czech Republic. Journal of Mining Science, 53(4), 778-788, DOI 10.1134/S1062739117042777, 2018, ISSN 1573-8736.
- [7] ŘÍHOVÁ, J.: Vliv pedologické charakteristiky stanoviště a způsobu rekultivace na vývoj biologického pokryvu výsypky Radovesice. Bakalářská práce, Přírodovědecká fakulta UK, Praha.
- [8] SCHMID, P., ŘEHOŘ, M., VRÁBLÍK, P.: Klimatické změny v regionu SZ Čech a jejich předpokládaný vliv na hornickou činnost a rekultivační práce. Zpravodaj Hnědé uhlí, č. 4/2020, s. 22–31, ISSN 1213-1660, Most 2008.
- [9] VRÁBLÍKOVÁ, J. a kol: Metodika ochrany půdy tvorbou a udržováním trvalých travních porostů a optimalizace rekultivačních postupů v antropogenně zatížené krajině regionu Podkrušnohoří. Metodika, VÚHU, UJEP 2018.
- [10] Zkušební laboratoř č. 1078: Interní metodické předpisy ZL. VÚHU a.s. Most, IMP zkušební laboratoř.