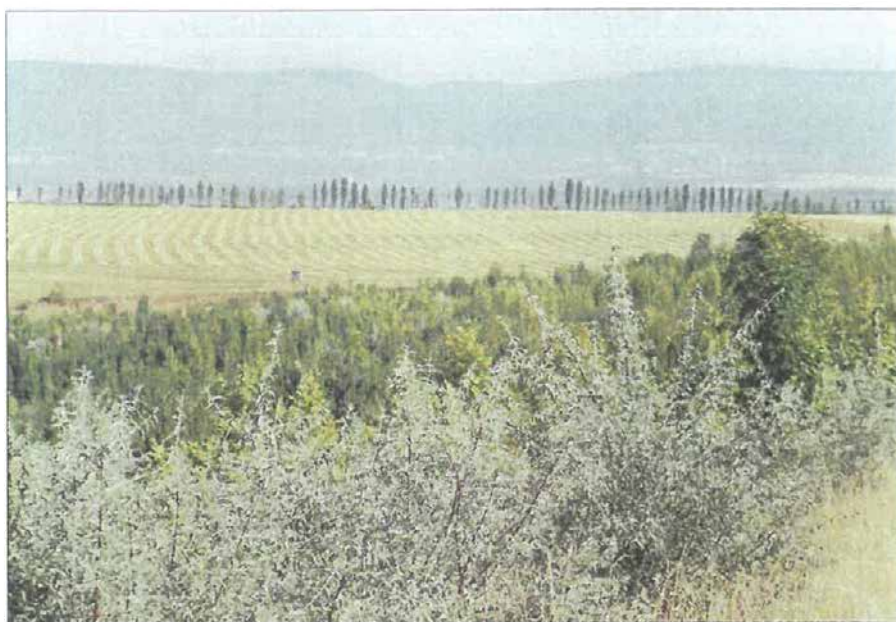




Obr. 1: Zalesněné území výsypky Radovesice I

horninami, méně kvalitními skrývkami humusových horizontů) aplikovaným v dávce cca 2000 t/ha, do celkové hloubky 0,3–0,4 m. V závislosti na vytvořených půdních podmínkách jsou používána i další rekultivační opatření, ke kterým patří zejména aplikace různých odpadů organického původu nebo průmyslových kompostů, a ověřovány byly i kaly z ČOV. Obdobná opatření při úpravě půdních vlastností na antropozemích hodnotí i [3, 9, 10, 8, 1].

2 Metodika

2.1 Hodnocené rekultivační varianty antropozemí

Varianta „A“: zahrnuje území I. etapy rekultivace Radovesické výsypky (obr. 1) s ukončenou technickou rekultivací v průběhu 1992–1993. Technologický postup rekultivace tohoto území sestával z návozu slinitých hornin v dávce cca 2000 t/ha, jejich rozprostření a křížového zaorání do půdního profilu velmi hlubokou orbou. Takto upravený povrchový půdní horizont byl opětovně převrstven slinitými horninami v dávce cca 2000 t/ha a dále rovněž i technologicky obdobně upraven jako předchozí. *Varianta „B“:* zahrnuje území III. etapy rekultivace Radovesické výsypky (obr. 3), s ukončenou technickou rekultivací v průběhu 1993–1994. Technologický postup rekultivace tohoto území sestával z návozu slinitých hornin v dávce 2000–3000 t/ha, jejich rozprostření s následným převrstvením tohoto překryvu dále sprašovými hlínami v dávce 2000–3000 t/ha a jejich křížového zaorání do půdního profilu velmi hlubokou orbou. *Varianta „C“:* zahrnuje území I. etapy rekultivace výsypky Braňany s ukončenou technickou rekultivací v roce 1993–1994. Technologický postup rekultivace tohoto území sestával z jeho překryvu skrývkou humusového horizontu (ornicí) o celkové mocnosti 0,2–0,3 m.

2.2 Hodnocení růstové vitality lesních dřevin

Posouzení růstové vitality lesních dřevin (*Populus nigra* L., *Populus nigra* var. *pyramidalis* L., *Larix decidua* L., *Betula*

verrucosa Ehrh., *Fraxinus excelsior* L., *Tilia cordata* Mill., *Pinus nigra* Arn., *Acer pseudoplatanus* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Picea omorica* L., *Pinus murrayana* var. *latifolia*, *Quercus robur* L., *Pinus sylvestris* L., *Picea pungens* L.) bylo provedeno na podkladě stanovení dendrometrických veličin (celkové výšky, výčetní tloušťky $d_{1,3}$) u 20–100 jedinců od všech zastoupených taxonů dřevin (s ohledem na četnost jejich zastoupení v porostní skladbě), v případě *Betula verrucosa* Ehrh. (varianta „A“ a „B“) a *Populus nigra* L. (varianta „B“) se jedná o hodnocení jedinců ze stádia primární sukcese. Statistické vyhodnocení růstové vitality dřevin (metodou Anova jeden faktor) se provedlo pouze u taxonů, kde byla dendrometrická veličina (celková výška) zachycena u více jak 30 jedinců. Jako kontrolní plocha pro porovnání růstové vitality lesních dřevin na antropozemích vytvořených ze slinitých hornin byla zvolena lesnická rekultivace obdobného stáří, nacházející se na antropozemi humózní (překryv výsypkové zeminy ornici o mocnosti 0,2–0,3 m) v prostoru I. etapy výsypky Braňany (varianta „C“).

2.3 Hodnocení půdních vlastností antropozemí

U odebraných porušených a neporušených půdních vzorků (Kopeckého válečků o objemu 100 cm³) z charakteristických půdních horizontů, tj. z výsypkového substrátu ovlivněného a neovlivněného melioračním sorbentem, bylo laboratorně stanoveno zrnitostní složení, půdní reakce, obsah organických látek a uhličitánů, sorpční vlastnosti, obsah přijatelných živin (P, K, Mg, Ca), maximální kapilární vodní kapacita, maximální kapilární nasáklivost, pórovitost a objemová hmotnost. Součinitel hydraulické vodivosti byl stanoven na podkladě infiltračních měření v terénu pomocí Guelphského permeamtru.

3 Výsledky

3.1 Půdní vlastnosti antropozemí

Rekultivační varianta „A“: půdotvorný substrát rekultivačně

Tab. 1: Zrnitostní složení

Rekultivační varianta	Půdní horizont (cm)	Obsah zrnitostní kategorie (%)				
		<0,001 mm	<0,01 mm	0,01–0,05	0,05–0,25	0,25–2,0
„A“	0 – 10	24,5	59,5	18,5	14,3	7,7
	10 – 30	28,8	64,3	15,2	13,7	6,7
	30 – 50	24,6	55,7	15,5	19,6	9,2
	50 – 80	2,8	6,5	2,9	4,5	86,1
„B“	0 – 10	26,1	48,9	17,2	18,1	15,8
	10 – 40	28,3	43,1	20,7	17,2	19,0
	40 – 70	30,2	70,7	18,6	8,1	2,6
	70 – 90	20,2	41,2	21,7	32,3	4,8
„C“	0 – 10	30,1	44,6	25	8,2	22,2
	10 – 30	31,3	49,3	24,6	9,0	17,1
	30 – 80	22,2	45,3	21,1	13,8	19,8

Tab. 2: Chemické a ostatní půdní vlastnosti

Rekultivační varianta	Půdní horizont (cm)	pH KCl	CaCO ₃ (%)	C _{ox} (%)	CEC (cmol/kg)	Přijatelné živiny Mehlich III (mg/kg)			
						P	K	Mg	Ca
„A“	0 – 10	7,2	26,0	1,28	12,5	2,3	155	268	37869
	10 – 30	7,4	28,0	0,32	9,4	4,3	116	199	38847
	30 – 50	7,6	26,0	0,44	9,9	1,0	89	225	36713
	50 – 80	7,6	2,1	0,11	5,0	6,7	94	267	6120
„B“	0 – 10	7,1	3,0	1,22	23,1	12,1	138	259	9690
	10 – 40	7,3	4,2	0,98	21,1	7,5	158	353	13238
	40 – 70	7,7	43,0	0,11	13,3	2,3	102	400	38483
	70 – 90	7,8	0,2	0,60	7,5	4,1	131	565	1490
„C“	0 – 10	7,0	1,0	2,61	30,6	15,3	480	360	6010
	10 – 30	7,1	1,2	1,90	29,1	14,9	463	384	6343
	30 – 80	7,0	0,1	0,31	12,9	6,4	91	209	1796

upraveného horizontu (0 – 0,5 m) lze petrograficky charakterizovat jako prachovito-jílovitý karbonát a zrnitostně (podle Nováka) jako zeminu jílovitou. Půdní reakce výměnná je slabě alkalická, substrát má velmi nízký obsah organických látek, podle obsahu uhličitánů představuje slín, kationtová výměnná kapacita je střední, sorpčně je úplně nasycený, má nízký obsah fosforu, vyhovující draslíku, dobrý hořčíku a velmi vysoký vápníku. Z hlediska hydrofyzikálního představuje příznivou variantu úpravy povrchu výsypky, která je strukturní, silně vododržná a mírně pórovitá. Substrát tvořený pouze výsypkovou zeminou (více 0,5 m) lze petrograficky charakterizovat jako prachovitý jílovec až prachovec a zrnitostně jako zeminu písčitou až hlinitopísčitou. Půdní reakce je slabě alkalická, substrát má střední obsah organických látek (přítomnost uhlí), je slabě vápnitý, kationtová výměnná kapacita je střední, sorpčně je úplně nasycený, má nízký obsah fosforu, vysoký draslíku, velmi vysoký hořčíku a vysoký vápníku, je silně vododržný a mírně pórovitý.

Rekultivační varianta „B“; půdotvorný substrát rekultivačně upraveného horizontu (0–0,4 m) lze petrograficky

charakterizovat jako prachovitý jílovec a zrnitostně jako zeminu jílovitohlinitou. Půdní reakce výměnná je slabě alkalická, substrát má nízký obsah organických látek, je vápnitý, kationtová výměnná kapacita je vysoká, sorpčně je úplně nasycený, má nízký obsah fosforu, vyhovující draslíku, velmi vysoký hořčíku a vápníku. Z hlediska hydrofyzikálního představuje příznivou variantu úpravy povrchu výsypky, která je strukturní, silně vododržná, mírně až středně pórovitá. Půdní horizont 0,4–0,6 m lze petrograficky charakterizovat jako prachovito-jílovitý karbonát a zrnitostně jako zeminu jílovitou. Půdní reakce výměnná je slabě alkalická, substrát má nízký obsah organických látek, podle obsahu uhličitánů představuje slín, kationtová výměnná kapacita je střední, sorpčně je úplně nasycený, má nízký obsah fosforu, vyhovující draslíku, velmi vysoký hořčíku a vápníku, zemina je silně vododržná a středně pórovitá. Půdotvorný substrát tvořený výsypkovou zeminou (více než 0,6 m) lze petrograficky charakterizovat jako prachovitý jílovec a zrnitostně jako zeminu hlinitou. Půdní reakce výměnná je slabě alkalická, substrát má velmi nízký obsah organických látek, je bezkarbonátový, kationtová výměnná kapacita je velmi nízká, sorpčně je úplně nasycený, má nízký obsah fosforu, dobrý

Tab. 3: Růstová vitalita lesních dřevin

Dřevina	Rekultivační stav	Tloušťka $d_{1,3}$ (cm)	Výška (m)	Hodnota P	Hodnota F	Rozdíl
<i>Pinus nigra</i> Arn.	„A“	10,3	5,1	0,239	1,434	neprůkazný
	„B“	11,0	4,8			
<i>Larix decidua</i> L.	„A“	9,5	7,5	0,735	0,116	neprůkazný
	„B“	9,0	7,7			
<i>Picea pungens</i>	„A“	3,9	2,9	0,669	0,184	neprůkazný
	„B“	3,3	2,7			
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	„A“	4,2	4,7	0,0004	14,88	vysoce průkazný
	„B“	5,6	5,9			
<i>Quercus robur</i> L.	„A“	4,1	4,9	0,051	4,46	průkazný
	„B“	4,4	4,4			
<i>Tilia cordata</i> Mill.	„A“	5,8	4,6	0,459	0,558	neprůkazný
	„B“	6,9	4,4			
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	„A“	4,6	5,2	0,041	4,458	průkazný
	„B“	4,2	4,8			
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	„A“	4,8	5,0	1,43 – 0,5	25,17	vysoce průkazný
	„B“	9,5	6,1			
<i>Tilia cordata</i> Mill.	„B“	6,9	4,4	0,658	0,199	neprůkazný
	„C“	7,1	4,2			
<i>Acer pseudoplatanus</i>	„B“	5,6	5,9	0,0005	14,54	vysoce průkazný
	„C“	7,0	7,2			
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	„B“	4,2	4,8	0,568	0,331	neprůkazný
	„C“	4,5	5,0			
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	„B“	9,5	6,1	0,005	9,05	průkazný
	„C“	8,6	6,9			
<i>Pinus sylvestris</i> L.	„B“	8,4	6,4			
<i>Picea omorica</i> L.	„A“	4,4	4,2			
<i>Betula verrucosa</i> Ehrh.	„A“	8,9	8,5			
	„B“	10,8	8,1			
<i>Pinus Murrayana</i> var. <i>latifolia</i>	„A“	4,0	3,6			
<i>Populus nigra</i> L.	„A“	19,3	18,1			
	„B“	18,6	14,2			
<i>Populus nigra</i> L. var. <i>pyramidalis</i>	„A“	17,5	15,7			

draslíku, velmi vysoký hořčíku a nízký vápníku, je středně vodo-
držný a slabě pórovitý.

Rekultivační varianta „C“, humusový horizont (0–0,3 m) vytvořený z překryvu ornici lze petrograficky charakterizovat jako prachovitý jílovec a zrnitostně jako zeminu hlinitou až jílovitohlinitou, půdní reakce výměnná je neutrální, zemina je slabě vápnitá, má vysoký obsah organických látek, kationtová výměnná kapacita je vysoká, sorpčně je úplně nasycený, má nízký obsah fosforu, vysoký draslíku, hořčíku a vápníku a z hlediska hydrofyzikálního představuje příznivou variantu úpravy povrchu výsypky, která je strukturní, silně vododržná a středně pórovitá. Půdní horizont (0,3–0,8 m), který tvoří

výsypkový substrát lze petrograficky charakterizovat jako prachovitý jílovec, zrnitostně jako zeminu hlinitou až jílovitohlinitou, půdní reakce výměnná je neutrální, zemina je bezkarbonátová, má nízký obsah organických látek, kationtová výměnná kapacita je nízká, sorpčně je úplně nasycená, má nízký obsah fosforu, vyhovující draslíku, velmi vysoký hořčíku a vyhovující vápníku. Stanovené půdní vlastnosti hodnocených rekultivačních variant uvádí tab. 1 a 2.

3.2 Růstová vitalita lesních dřevin na antropozemích

Bezkonkurenčně nejlepší růstovou vitalitu na podkladě stanovených dendrometrických veličin vykazuje na výsypkových



Obr. 2: Růstová vitalita topolu černého (var. pyramidalis), borovice černé a lípy srdčité na výsypce Radovesice I



Obr. 3: Zalesněné území výsypky Radovesice III



Obr. 4: Růstová vitalita smrku pichlavého, olše lepkavé a lípy srdčité na výsypce Radovesice III



Obr. 5: Růstová vitalita borovice černé a borovice lesní na výsypce Radovesice III

substrátech rekultivačně upravených vysokými dávkami slinitých hornin *Populus nigra* L. a *Populus nigra* L., var. *Pyramidalis* L. (obr. 2). Těmto dřevinám se růstovou prosperitou dále významně přibližuje i *Larix decidua* L., *Pinus sylvestris* L. (obr. 5) a v závislosti na půdních vlastnostech vytvořené antropozemě i *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. (obr. 4), *Acer pseudoplatanus* L. a *Betula verrucosa* Ehrh. Další rekultivačně velmi významnou skupinu dřevin využitelnou při zalesňování těchto antropozemí s dosahovanými v hodnoceném věku již nižšími taxačními veličinami tvoří *Fraxinus excelsior* L., *Pinus nigra* Arn., *Quercus robur* L. a *Tilia cordata* Mill. Z hlediska rekultivačního i dosahovanou růstovou vitalitou lze považovat dále již za méně významnou skupinu dřevin z umělé výsadby původu introdukovaného tvořenou *Pinus Murrayana* var. *latifolia*, *Picea pungens* L. a *Picea omorica* L. Stanovené dendrometrické veličiny a statistické vyhodnocení uvádí tab. 3.

4 Závěr

Prováděná dlouhodobější pedologická a vegetační šetření na výsypkových substrátech rekultivačně upravených slinitými horninami, lze shrnout do těchto obecnějších závěrů. Použití 20–40 % podílu slinitých hornin při úpravě půdních vlastností zemín písčitých představuje vznik zeminy písčitohlinité a 60–80 % podílu slinitých hornin vznik zeminy jílovitohlinité. Množství použitých slinitých hornin k rekultivaci (20, 40, 60 a 80 %) představuje obdobný nárůst půdní alkality. Zvyšující se dávky slinitých hornin (více než 20 %) představují z hlediska lesnického dále bezvýznamný nárůst obsahu uhličitánů, kationtové výměnné kapacity, fosforu, draslíku a hořčíku. Použití 20 % podílu slinitých hornin představuje dále i pozitivní úpravu vododržnosti, ale zvyšující se dávky se již nepodílí dále na významnější úpravě této půdní vlastnosti. Nejvýznamnějším faktorem použití slinitých hornin k rekultivačním účelům v podmínkách výsypek, a to bez ohledu na texturní charakter upravovaných výsypkových zemín, se však stává přítomnost substrátů již uhelné sloje, tj. zvýšený obsah různě zvětralého uhlí a pyritu, který v půdotvorném procesu představuje pro vegetaci extrémně nepříznivý a časově zhoršující se hydrofyzikální a chemický stav (po přeschnutí nízká nasáklivost, nepříznivě protierozní vlastnosti, nárůst půdní acidity). Rekultivačně byla z důvodu nedostupnosti vhodných mechanizačních prostředků využitelných při promísení výsypkových zemín se slinitými horninami na svazích o sklonitosti až 16 % použita i varianta, kdy dochází pouze k překryvu povrchu výsypky slinitými horninami o mocnosti 0,2 – 0,3 m a k další úpravě tohoto půdního horizontu orníci nebo sprašovými hlínami o mocnosti 0,2 m. Podle současných poznatků z prosperity růstu lesních dřevin na tomto stanovišti i tuto variantu v extrémnějších sklonitostních poměrech lze považovat za využitelnou.

Při zalesňování výsypkových substrátů rekultivačně upravených vysokými dávkami slinitých hornin lze využít poměrně široký sortiment dřevin původu domácího (*Populus nigra* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Pinus sylvestris* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Fraxinus excelsior* L., *Betula verrucosa* Ehrh., *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill.) včetně některých dřevin introdukovaných (*Larix decidua* L., *Pinus nigra* Arn.), které vykazují i značnou ekovalenci k vytvořeným profilovým půdním vlastnostem antropozemí. Za dřeviny, které významněji reagují na vytvořené příznivější půdní prostředí antropozemě

(aplikace ornice a sprašových hlín), lze považovat pouze *Acer pseudoplatanus* L. a *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. (tab. 3).

Literatura

- [1] ALONSO, F. J., VILADRICH, O., SERRASOLSES, I., GRAÇA, O.: Use of sewage sludge for restoration of degraded lands. Man and soil at the Third Millennium. Proceedings International Congress of the European Society for Soil Conservation, Valencia, Spain, 2000, pp. 2159–2166, Vol. 2002.
- [2] ČERMÁK, P., ONDRÁČEK, V.: Analýza erozních procesů na výsypkách severočeské pánve bez vegetace. Uhlí rudý, str. 6–8, 2/2007.
- [3] KATZUR, J., BÖCKER, L., STÄHR, F., MERTZIG, C.C.: The impact of melioration depth on forest growth on mine spoils afforested for the first time. Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie, Vol. 32, No. 4, pp. 170–178, 1998.
- [4] KOHEL, J., ČERMÁK, P.: Půdotvorné procesy antropických půd vytvářených na výsypkách v oblasti Severočeské podkrušnohorské pánve. Soil and Water, VÚMOP Praha str. 33–50, 3/2004.
- [5] NĚMEČEK, J.: Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Praha, ČZU, str. 79, 2001.
- [6] ONDRÁČEK, V., ŘEHOŘ, M., LANG, T.: Historie, Gegenwart und Perspektiven der Rekultivierung auf dem Gebiet des Bergbaubetriebes Doly Bílina. Surface Mining-Braunkohle & Other Minerals, pp. 90–101, 1/2003.
- [7] ŘEHOŘ, M., LANG, T., EIS, M.: Application of new methods in solving current reclamation Issues of Severočeské Doly, a.s. location. Surface Mining – Braunkohle & Other Minerals, pp. 283–286, 6/2006.
- [8] SCHAAF, W., GAST, M., WILDEN, R., SCHERZER, J.: Blechschmidt, R., Hüttel, R.F., Temporal and spatial development of soil solution chemistry and element budgets in different mine soils of the Lusatian lignite mining area. Plant and Soil, Vol. 213, No. 1/2, pp. 169–179, 1999.
- [9] SCHULZE-BIERBACH, A., PLATTENBERG, F.: Silvicultural challenges in Federal German forests. AFZ/Der Wald, Allgemeine Forst Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge, Vol. 53, No. 17, pp. 898–900, 1998.
- [10] WEBER, E., KLEM, D., HÜTTL, R.F., SCHAFT, W.: Forestry on spoil heap sites. AFZ/ Der Wald, Allgemeine Forst Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge, Vol. 54, No. 25, pp. 1324–1343, 1999.

V práci jsou dále využity výsledky z řešení výzkumného záměru MZE0002704901 „Zmírnění nepříznivých přírodních vlivů na půdu a vodu.“