

Geneze antropogenních substrátů na výsypkách jako základ pro vytvoření lesnické rekultivační typologie

doc. Ing. Konstantin Dimitrovský, Ing. Miroslav Kunt, Ph.D., RNDr. Oldřich Vacek, CSc.

Katedra zahradní a krajinné architektury FAPPZ ČZU, Kamýčká 129, Praha 6 – Suchbátka, 165 000, kunt@af.czu.cz

Přijato: 16. 7. 2015, recenzováno: 15. 10 a 2. 11. 2015

Abstrakt

Podrobné studium pedogenetických procesů antropogenních substrátů na výsypkách v oblasti Sokolovské hnědouhelné pánve tvoří základní předpoklad pro určení typu rekultivace (zemědělské, lesnické, hydričké, ostatní – lesoparky, bažantnice, golfové hřiště, autodrom, rekreační plochy, apod.) na antropogenních půdních substrátech. Genetické procesy antropogenních substrátů (profilů) jsou ovlivňovány geologicko-petrografickou skladbou, stupněm zvětrání a v neposlední řadě i volbou vegetace (lesní porosty, zemědělské kultury, ovocné sady, bažantnice, rekreační plochy). Velkou výhodou pro zobecnění procesu geneze antropogenních lesních půd se staly v oblasti Sokolovské pánve nejstarší lesnické výsadby v ČR (výsypka Vilém – vznik 1929-34, Bohemia – vznik 1928-32). Další podrobný výzkum genetických proměn antropogenních substrátů byl prováděn na celé řadě mladších výsypk se zemědělskou, především lesnickou rekultivací (výsypky Dukla, Gustav, Velká Loketská, Velký Riesel, a zejména výsypka Antonín, kde bylo vybudováno jedinečné lesnické rekultivační arboretum v ČR i ve světě, se zastoupením 224 druhů dřevin). V předloženém elaborátu jsou originální výsledky geneze půdy počínaje protoprofily (0-20 let), mezoprofily (20-40 let) a teloprofily (40 a více let). Zobecněné výsledky pedogenetických procesů na výsypkových stanovištích byly studovány po stránce geologické, pedologické, hydro-pedologické a vegetační, včetně vývoje mikrobiologie. Na základě výsledků výše uvedených studií byla zpracována metodika pro zemědělské, lesnické, hydričké a tzv. ostatní rekultivace. Na základě těchto výzkumů byla také vytvořena klasifikace potenciální úrodnosti jednotlivých typů skrývaného nadloží nad uhelnou slojí a rud.

Genesis of anthropogenic substrates on mining dumps as the basis for the creation of a forestry reclamation typology

A detailed study of the pedogenetical processes of anthropogenic substrates on the mining dumps in the area of Sokolov brown coal basin constitutes an essential precondition for the determination of the type of reclamation (agricultural, forestry, water, other – forest parks, pheasantries, golf courses, car racetracks, recreation areas, etc.) on anthropogenic soil substrates. Genetic processes of anthropogenic substrates (profiles) are influenced by the geological petrographical composition, the degree of weathering and last but not least the choice of vegetation (forest, agricultural cultures, fruit orchards, pheasantries, recreation area). The great advantage for the generalization of the process of anthropogenic forest soil genesis in the area of Sokolov basin became the oldest forestry planting in the CR (spoil dump William – 1929-34, Bohemia – 1928-32). Additional detailed research of genetic changes of anthropogenic substrates was conducted on a wide range of younger dumps with agricultural, primarily forestry reclamation (dumps Dukla, Gustav, Velká Loketská, Velký Riesel, and mainly large spoil dump Antonín, a unique forestry reclamation arboretum in the Czech Republic and in the world, consisting of 224 species of trees). The present paper provides genuine results of soil genesis, starting with protoprofiles (0-20 years old), mesoprofiles (20-40 years) and teloprofiles (40 and more years). The generalized results of the pedogenetical processes on dump sites have been studied with respect to the geological, pedological, hydro-pedological and vegetation conditions, including the development of microbiology. The results of the above mentioned studies enabled to define the methodology for agricultural, forestry, hydrological (hydric) and other reclamation. In addition these researches enable to create classification of potential fertility of individual types of extracted overburden above coal seams and ores.

Genese von anthropogenen Substraten auf den Kippen als Grundlage für Bildung forstlicher Rekultivierungstypologie

Das eingehende Studium der bodenbildenden Prozesse von anthropogenen Substraten auf den Kippen im Bereich des Braunkohlenbeckens Sokolov stellt eine grundlegende Voraussetzung für die Bestimmung des Typs der Rekultivierung (landwirtschaftliche, forstliche, hydri-sche, sonstige – Waldparke, Fasanerien, Golfplätze, Autorennbahn, Erholungsfläche u.s.w.) auf den anthropogenen Bodensubstraten dar. Die genetischen Prozesse anthropogener Substrate (Profile) werden durch geologisch-petrographische Struktur, Verwitterungsgrad und nicht zuletzt auch durch Wahl der Vegetation (Waldbestände, landwirtschaftliche Kulturen, Obstgarten, Fasanerien, Erholungsfläche) beeinflusst. Zu großem Vorteil für Verallgemeinerung des Prozesses der Genese anthropogener Waldböden wurden die ältesten Waldanpflanzungen in der ČR im Becken Sokolov (Kippe Vilém – Entstehung 1929-34, Kippe Bohemia – Entstehung 1928-32). Weitere eingehende Untersuchung genetischer Änderungen anthropogener Substrate wurde auf einer ganzen Reihe jüngerer Kippen mit landwirtschaftlicher, vor allem forstlicher Rekultivierung (Kippen Dukla, Gustav, Velká Loketská, Velký Riesel und insbesondere die Kippe Antonín, wo ein einzigartiges Arboretum in der ČR sowie weltweit mit 224 Holzarten ausgebaut wurde) durchgeführt. Im vorgelegten Elaborat sind originale Ergebnisse der Bodengenese, beginnend mit Protoprofilen (0-20 Jahre), Mesoprofilen (20-40 Jahre) und Teloprofilen (40 Jahre und mehr) angeführt. Die verallgemeinerten Ergebnisse der bodenbildenden Prozesse auf den Kippenstandorten wurden studiert im Hinblick auf Geologie, Bodenkunde, Hydro-bodenkunde und Vegetation, einschl. Entwicklung der Mikrobiologie. Auf Basis der Ergebnisse der oben genannten Studien wurde Methodik für landwirtschaftliche, forstliche, hydri-sche und sog. sonstige Rekultivierungen erarbeitet. Auf Basis dieser Untersuchungen wurde auch Klassifizierung potentieller Fruchtbarkeit der einzelnen Type des abgetragenen Deckgebirge oberhalb des Kohle- und Erzflözes geschafft.

Klíčová slova: geneze, antropogenní substrát, výsypka, rekultivace, rekultivační typologie.

Keywords: genesis, anthropogenic substrate, spoil dump, reclamation, typology of recultivation.

1 Úvod

Pro studium vývoje pedogenetických proměn antropogenních lesních půd jako modelové zeminy byly vybrány jíly cyprisové a vulkanodetritické série různých forem zpevnění na výsypkách, pocházejících z různých hloubek nadloží (0-120 m) pod povrchem v původním uložení [8,2,40,42,43,52].

Na počátku rekultivace, tj. v době zalesnění, lze půdní profily na výsypkách charakterizovat jako homogenní (jílovité břidlice, jíly s listkovitou odlučností) nebo jako náhodnou a chaotickou směs obou struktur. Stupeň destrukce původní struktury má neobyčejně velký význam pro volbu druhů dřevin podle nároků na půdní chemii, půdní fyziku, půdní vzduch a půdní vodu [3,4,10,12,15,21,30,41]. Chaotický výskyt obou struktur jílu cyprisové a vulkanodetritické série různých geometrických tvarů a velikostí podmiňuje strukturální heterogenitu profilů a tím i pedogenetické vlastnosti, které značnou měrou ovlivňují jak výběr botanických druhů dřevin domácího a introdukovaného původu, tak i jejich vzrůst a vývoj.

Zvětrávací proces zemin na výsypkách příznivě ovlivňuje chemické vlastnosti uvolňováním základních prvků minerální povahy (Ca, K, Mg, P) a nepříznivě fyzikální a hydropedologické vlastnosti. Z toho důvodu veškerá rekultivační opatření musí vést k udržení primárních forem zpevnění, případně k tvorbě druhotných agregátů umožňujících vhodnou půdní fyziku a hydropedologii.

Pro zobecnění významu struktury v rekultivačním pedogenetickém procesu jsme si vybrali substráty na výsypkách starých (Vilém – dosypanou v roce 1929), středně starých (Velký Riesel – 1959) a mladých (Antonín – 1967, Loketská – 1990). Z vlastního výběru substrátů vyplývá, že byly sledovány profily v řadě od protopedoprofilů, přes profily málo vyvinuté, až po středně vyvinuté [2,52,45].

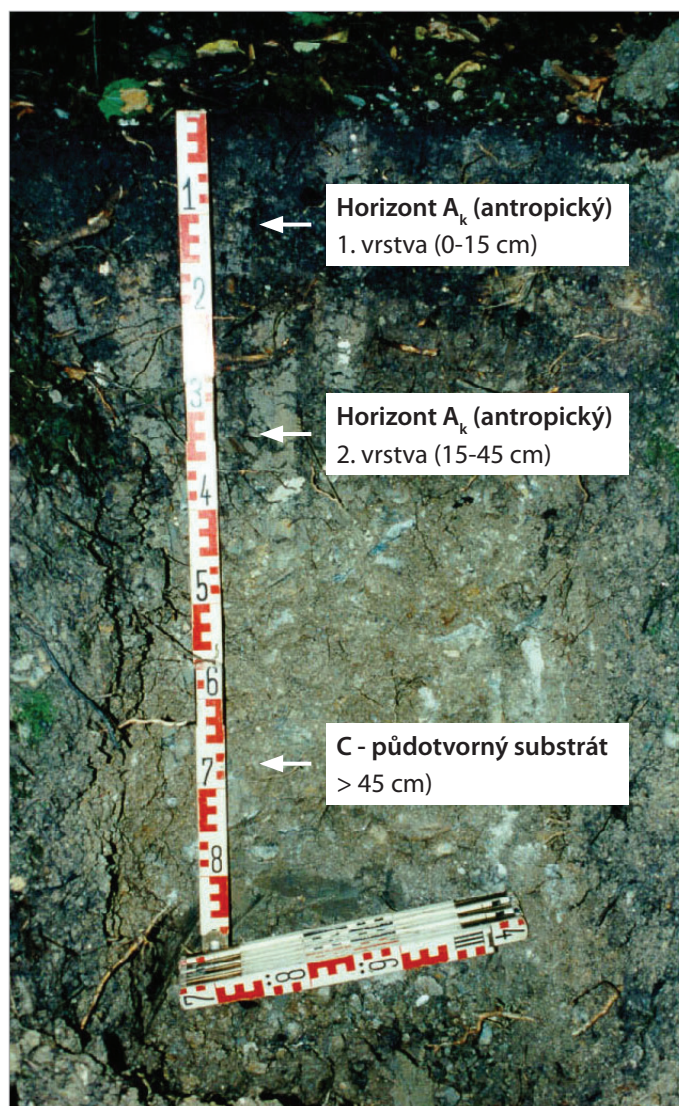
Pro vývoj pedogenetických procesů strukturálně heterogenních substrátů na výsypkách má nezastupitelný význam skladba lesních porostů (přípravné porosty, smíšené porosty listnaté, smíšené porosty listnato-jehličnaté). Určujícím měřítkem pro založení výše uvedených typů porostů byla známá primární potenciální úrodnost substrátů a její proměny v průběhu rekultivačního cyklu. Rekultivačním cyklem je uvažované období, kdy se u půdních substrátů výsypek docílí produkční schopnosti (trofnost) odpovídající po stránce půdní chemie, půdní fyziky a hydropedologie geneticky vyvinutým rostlým půdám dané oblasti na stejném geologicko-petrografickém základě (oblast Sokolovské hnědouhelné pánve).

2 Cíl

Hlavním cílem předloženého elaborátu je vymezení základních pedologických a biologických kritérií důležitých pro obnovu vegetace postprůmyslové krajiny. Mají-li rekultivace plnit své poslání (funkce půdoochranná, půdotvorná, bioklimatická, hygienická, vodohospodářská, rekreační) stabilizujícího ekologického faktoru hornické krajiny, potřebujeme s dostatečnou přesností znát stav obnovené vegetace v prostoru a čase [14,17,21,22,25,54].

3 Ekologická stabilita antropogenních substrátů

Pro lepší pochopení problematiky je třeba vymezit pojem „ekologická stabilita“. Ekologická stabilita je definována jako schopnost ekologických složek prostředí původního i antropického charakteru (rostlé půdy, antropogenní půdy, autochtonní a introdukované rostliny a dřeviny apod.) vykazovat autoregulační schopnosti i v období působení negativních vlivů vnějších (oxid siričitý, fluór, omezení slunečních dnů, dusík, pevný úlet) a vnitřních (okyselování půd, snížená fyotosyntéza, anatomické změny taxonů aj.) [39,58]. Z výše uvedeného plyne, že ekologická stabilita nízké i vzrostlé vegetace, obnovované v rámci velkoplošných rekultivací na všech typech antropogenních substrátů, je předurčena právě autoregulační znalostí pěstovaných druhů rostlin a dřevin na tato specifická stanoviště. Odzkoušené druhy rostlin a dřevin v rámci zemědělské a lesnické rekultivace s autoregulační schopností genetickou nazýváme klimaxovými, protikladem jsou druhy neklimaxové s omezenou autoregulační schopností. Jde o druhy velmi citlivé na působení negativních účinků emitovaných zplodin v ovzduší, vodě a antropogenní půdě [15,27,29,45,46]. K takovým již neklimaxovým druhům v imisních oblastech patří např. *Abies alba* a *Picea abies*.



Obr. 1: Makroskopický pohled na výsypce Velký Riesel zalesněné v roce 1961.



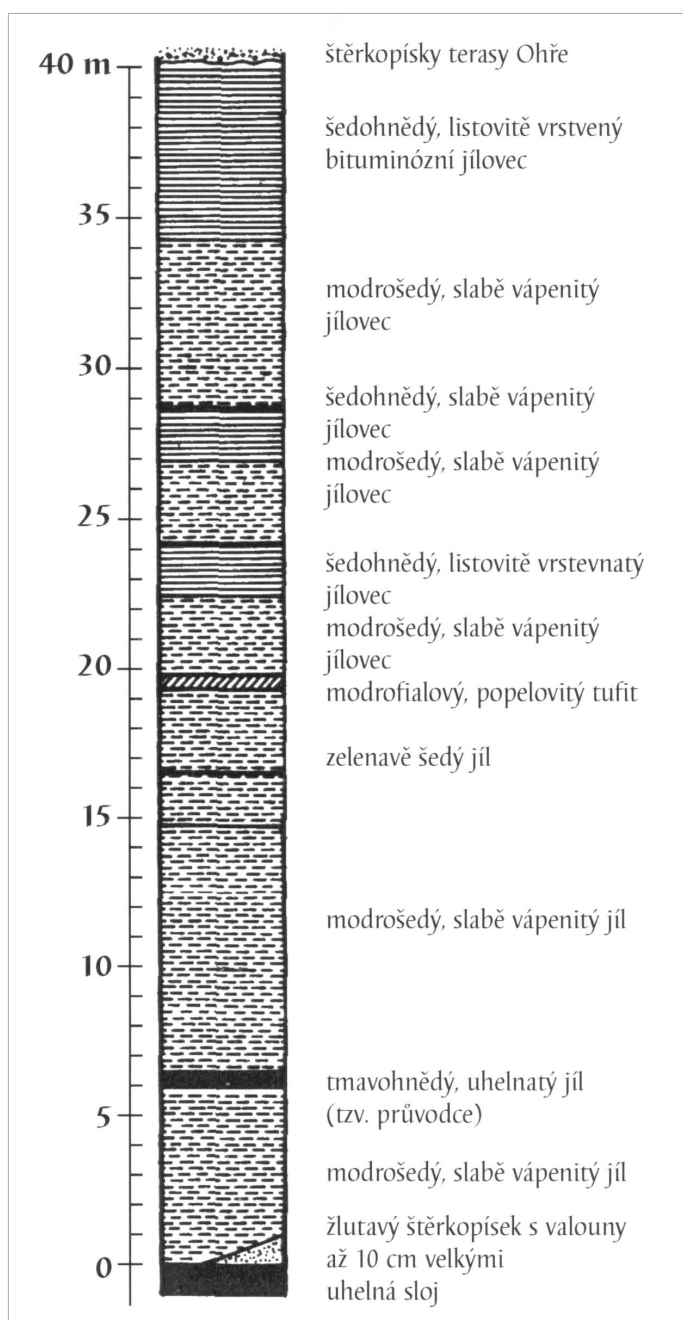
Obr. 2: Letecký pohled na rekultivační lesnické arboretum Antonín na západním okraji města Sokolova.



Obr. 3: Úprava krajiny na výsypce Velká Loketská (502,16 ha) formou všech způsobů rekultivace (zemědělská, lesnická, hydrická rekultivace).

Z pohledu výzkumu a praxe je důležité vymezení hranic (mezních parametrů), při kterých dochází k narušení ekologické stability taxonů. Překročením těchto mezí dochází k ekologické labilitě taxonů přerůstající ve změny patologické (kořenové hniloby, houbová onemocnění nadzemních částí, vysychání asimilačních orgánů). V podmínkách imisních oblastí k ekologické labilitě taxonů dochází v podstatě trojím způsobem:

- akutní labilita taxonů způsobená nadměrnou jednorázovou dávkou škodlivin (SO_2 , fluor, prach),
- chronická labilita jako výsledek periodického působení škodlivin,
- edafická labilita vyjádřená toxikologickým působením půdního substrátu (hydratované formy Fe a Al, kritické okyselení půdy SO_2 z elektráren – pod 2 pH/KCl) [9,28,39,52].



Obr. 4: Profilová charakteristika nadloží a uhelné sloje v oblasti těžby uhlí na Sokolovsku.

U prvních dvou kategorií lability taxonů jde o toxikologické jevy přímé; u třetí o jev zprostředkovaný. O působení imisí na ekologickou stabilitu zakládání lesních kultur na výsypkách, odvalech a haldách v uhelných pánvích na území České republiky (Sokolovská, Severočeská, Kladenská, Ostravská, Hodonínská) bylo publikováno velmi málo prací, takže tato otázka zůstává i nadále předmětem současného i budoucího bádání. Rovněž četné publikace o působení emisí a imisí na lesní porosty v imisních oblastech neposkytují věrohodné údaje z důvodů nejednotných metodických postupů sledování a exponenciálního průběhu škod na lesních ekosystémech v prostoru a čase. Určitou překážkou pro exaktní posouzení ekologické stability lesních taxonů na rekultivovaných plochách (výsypkách, odvalech, haldách, skládkách tuhého komunálního odpadu) i autochtonních lesů v imisních oblastech (Krušné hory, Jizerské hory) bylo utajování množství a chemického složení emitovaných zplodin v ovzduší. Výsledkem výše uvedených anomálií je dosud i nejednotný názor vědeckých pracovníků na průběh a intenzitu poškození taxonů, a tím i jejich ekologické stability (současný stav smrku pichlavého v Krušných horách, Jizerských horách a Beskydech) [12,13,23,48,49,50]. Základním předpokladem změny názoru na ekologickou stabilitu pěstovaných taxonů v imisních oblastech a antropogenních půdních substrátech je studium evolučně genetických proměn taxonů vyvolaných jak změnou půdních podmínek, tak i podmínek mikro a makroklimatických. Chronologický vývoj obnovy lesa na antropogenních substrátech vytvořil unikátní objekt pro takové studium z důvodů:

- atypické půdní prostředí (zeminy vytěžené z mnohometrové hloubky nadloží uhelné sloje – viz obrázek č. 1) je půdně geneticky nedefinovatelné a jeho výživovací schopnost (posuzováno podle obsahu a migrace základních prvků minerální povahy – Ca, K, Mg, P) poskytuje zcela analogické podmínky pro odzkoušení dřevin domácího a introdukovaného původu, bez ohledu na jejich autochtonní půdní podmínky [35,36,38,41,44],
- intoxikace rhizologické hloubky profilů imisemi a pevným úletem má v první fázi rekultivačního cyklu hodnotu nulovou a je kontrolovatelná v časovém rozpětí sledování,
- počet druhů sledovaných dřevin listnatých, jehličnatých a jejich porostů domácího a introdukovaného původu na pokusných plochách trvalého charakteru přesahuje číslo 200, zejména v unikátním rekultivačním arboretu Antonín na ploše 165 ha (viz obrázky č. 2, 3) [18,27,51,53], kde byla vybudována rovněž meteorologická stanice I. stupně,
- paralelně jsou sledovány i porosty založené z „domácích“ výsypkových potomstev u některých dřevin (*Alnus glutinosa*, *Fraxinus excelsior*, *Larix decidua*, *Pinus sylvestris*, *Pinus murrayana*, *Pinus contorta*, *Pinus rotundata*, *Picea abies*, *Acer pseudoplatanus*, *Quercus robur*, *Quercus petraea*, *Carpinus betulus*),
- z důvodu možnosti porovnání ekologické stability nebo lability u druhů domácích a introdukovaných [19,26,28,29,53].

Vzhledem k tomu, že rozsah i obsah dané problematiky je značně složitý, omezíme se pouze na diskusi reprodukovatelných výsledků, které mají význam pro vymezení základních pedologických kritérií důležitých pro volbu způsobu rekultivace.

Tab. 1a: Chemické vlastnosti výsypkových substrátů.

Číslo vz.	pH		Cox %	H výměn.	CaCO ₃ %	Ca mg/kg	Mg mg/kg	K mg/kg	P mg/kg	S mmol/100g	T	V %
	H ₂ O	KCl										
1	7,16	6,57	1,64	5,60	0,35	1 830	830	390	2	28,15	35,60	89,50
2	7,24	6,75	1,87	6,10	0,20	1 690	690	410	< 1	31,40	33,90	90,40
3	7,51	6,80	0,92	3,80	0,42	1 940	820	815	< 1	30,10	30,50	100,0
4	6,83	6,65	0,58	4,20	0,22	1 660	560	370	< 1	20,80	22,00	93,20
5	6,50	6,10	1,90	3,35	0,25	1 970	630	450	< 1	21,50	32,10	59,60
6	7,72	7,26	2,04	5,40	0,40	1 830	950	860	< 1	20,20	34,80	94,60
7	7,12	6,48	2,16	3,90	0,25	1 790	640	490	< 1	26,10	28,30	94,70
8	7,05	6,72	1,77	5,30	0,38	1 680	480	380	3	21,00	34,70	89,30

Poznámka: vzorky 1 – 4: výsypka Velký Riesel (1969), vzorky 5 – 8: výsypka Antonín

Tab. 1b: Celkový obsah živin minerální povahy u zvětralých a nezvětralých zemín – údaje v %.

Výsypka	Číslo vz.	Stav zeminy	Hloubka odběru [cm]	CaO			K ₂ O			MgO			P ₂ O ₅		
				od	do	%	od	do	%	od	do	%	od	do	%
Antonín (r. 1977)	1	zvětralá	0-30	0,72	0,84	0,78	0,42	0,86	0,64	1,33	1,76	1,54	0,12	0,44	0,28
	2	nezvětralá	30-60	0,96	1,24	1,10	1,15	1,74	1,44	2,44	3,52	2,98	0,10	0,56	0,33
	3	zvětralá	0-25	0,49	0,82	0,65	1,51	1,62	1,56	1,38	1,84	1,61	0,18	0,49	0,33
	4	nezvětralá	25-50	1,06	1,48	1,27	0,76	1,84	1,30	1,65	2,31	1,98	0,14	0,36	0,25
	5	zvětralá	0-20	0,86	1,26	1,06	2,64	3,11	2,87	1,74	2,10	1,92	0,17	0,50	0,33
	6	nezvětralá	20-50	1,15	1,99	1,57	1,47	1,58	1,52	2,16	2,65	2,40	0,12	0,39	0,25
	7	zvětralá	0-20	0,64	0,88	0,76	0,64	0,98	0,81	1,16	1,73	1,44	0,19	0,70	0,45
	8	nezvětralá	20-50	2,12	2,18	2,15	1,76	1,84	1,50	1,49	1,67	1,58	0,11	0,42	0,26
Velký Riesel (r. 1969)	9	zvětralá	0-30	0,81	2,19	1,50	1,48	1,72	1,60	1,50	1,84	1,67	0,15	0,47	0,31
	10	nezvětralá	30-70	1,32	2,06	1,69	0,76	0,81	0,78	1,92	3,14	2,53	0,12	0,36	0,24
	11	zvětralá	0-20	0,50	2,15	1,07	0,80	1,04	0,92	1,48	2,02	1,75	0,16	0,51	0,33
	12	nezvětralá	20-50	0,74	3,36	2,05	0,56	0,82	0,69	2,08	2,91	2,49	0,10	0,36	0,23

Tab. 1c: Chemické vlastnosti u antropogenních půd převrstvených orníci (výsypka Gustav – 1978).

Číslo vz.	Kyselost v pH		Sorpční komplex			Přístupné živiny				Q4/6	N		Cox.	20 % vyluh				
						Aktivní	Výměnná	S	T		V	K	P	Mg	celk.	%	celk.	Na
	miliekvi/100g			mg/kg														
GIN	6,39	5,78	22,22	34,24	64,89	270	12,5	198,1	6,51	0,20	2,55	0,010	0,17	0,42	0,78	0,45		
GIN	6,27	5,52	23,84	39,76	59,96	585	32,0	219,1	7,13	0,25	3,05	0,007	0,15	0,50	1,06	0,56		
GIP	7,55	7,09	40,00	40,97	97,63	390	64,0	263,0	6,14	0,19	2,50	0,021	0,15	0,31	0,72	0,41		
GIP	7,66	7,09	48,89	50,19	97,41	510	98,0	218,8	6,39	0,19	2,50	0,021	0,15	0,29	0,55	0,26		
GIK	7,13	6,51	31,11	36,15	86,06	325	28,0	296,0	6,22	0,23	3,20	-	0,15	0,44	0,72	0,28		
GIK	6,47	5,69	22,63	34,49	65,61	390	18,5	201,6	6,16	0,18	2,35	0,009	0,15	0,44	0,72	0,28		
GIIN	7,98	7,40	86,46	86,78	99,63	405	St.	851,0	5,79	0,16	3,50	0,039	0,15	0,17	0,39	0,22		
GIIN	8,08	7,42	83,64	84,18	99,42	360	St.	934,0	5,85	0,14	3,20	0,044	0,15	0,23	0,48	0,25		
GII P	8,40	7,52	94,14	94,63	99,48	380	St.	956,0	7,26	0,14	3,45	0,049	0,15	0,13	0,19	0,06		
GII P	8,01	7,22	88,89	89,70	99,09	315	St.	786,0	7,35	0,19	4,10	0,022	0,15	0,21	0,58	0,37		
GII K	7,92	7,27	67,07	67,72	99,04	370	St.	687,0	5,04	0,15	3,85	0,037	0,15	0,17	0,82	0,65		
GII KS	8,17	7,32	72,73	73,38	99,11	340	St.	782,0	4,99	0,14	3,45	0,057	0,15	0,08	0,72	0,64		
GII KS	8,27	7,39	84,85	85,17	99,62	380	St.	817,0	5,02	0,15	3,50	0,054	0,15	0,19	0,63	0,44		
GII KS	8,18	7,42	80,40	80,89	99,39	375	St.	781,0	5,12	0,15	3,75	0,055	0,15	0,15	0,48	0,23		

Vysvětlivky: N – dusík, P – fosfor, K – kontrola, KS – kejda skotu

Tab. 2: Proces desagregace jílovitých zemín pod pěstovanými lesními porosty.

Výsypka	Druhová skladba	Číslo profilu	Hloubka odběru [cm]	Zrnitostní složení – údaje v %				
				<0,002	0,002-0,01	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-2 mm
Antonín (1979)	Monokultura <i>Pinus murrayana</i>	1	0-40	19,5	47,7	20,6	9,4	2,8
	Monokultura <i>Alnus glutinosa</i>	2	0-30	16,2	34,8	24,4	17,6	8,0
	Směs <i>Pinus murrayana</i> a <i>Alnus glutinosa</i>	3	0-40	22,4	40,0	27,4	4,0	6,2
	Směs <i>Alnus glutinosa</i> a <i>Acer platanoides</i>	4	0-40	17,8	41,8	30,8	3,8	5,8
Velký Riesel (1968)	Monokultura <i>Pinus murrayana</i>	5	0-30	26,2	37,0	25,6	5,2	6,0
	Směs <i>Pinus murrayana</i> a <i>Alnus incana</i>	6	0-30	29,4	34,0	24,8	4,8	7,0
	Směs <i>Alnus glutinosa</i> a <i>Acer pseudoplatanus</i>	7	0-40	17,4	26,8	23,6	15,2	17,2
	Monokultura <i>Larix decidua</i>	8	0-40	27,4	39,6	17,5	10,3	5,2
Vilém (1963)	Monokultura <i>Alnus incana</i>	9	0-40	22,6	38,2	20,3	8,9	10,0
	Monokultura <i>Pinus nigra</i>	10	0-50	25,1	40,6	16,9	12,3	5,1
	Přeměna <i>Alnus incana</i> pruhovou sečí (<i>Ulmus scabra</i> , <i>Acer pseudoplatanus</i> , <i>Fagus sylvatica</i>)	11	0-30	18,7	37,3	30,2	6,1	7,7
	Přeměna <i>Alnus incana</i> koltíkovou sečí (<i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Acer platanoides</i>)	12	0-40	35,4	34,2	25,6	0,6	4,2

Tab. 3: Momentální vlhkost, maximální kapilární nasákivost a specifický povrch u zalesněných výsypkových substrátů.

Profil č. 1: Rekultivace lesnická – průměra přípravného porostu <i>Alnus incana</i> kotlíkovou sečí s použitím <i>Ulmus scabra</i>													
Výsypka	Hloubka odběru [cm]	Jaro		Léto		Podzim		Jaro		Léto		Podzim	
		W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N
Vilém (zalesnění 1930)	0-5	47,40	50,40	28,50	49,35	36,20	49,95	27,05	40,36	26,00	51,50	33,00	48,50
	5-10	44,30	49,50	32,00	50,20	47,34	50,40	33,90	42,03	29,20	52,35	38,20	48,50
	10-20	42,90	40,60	53,10	51,40	46,90	50,92	40,96	48,24	30,50	50,00	40,70	48,20
	20-40	37,80	48,30	42,00	50,00	44,40	51,55	36,02	55,43	35,80	52,90	40,20	45,30
	40-60	43,90	47,20	43,15	48,60	41,80	47,15	30,47	50,52	34,30	47,05	37,40	43,75
	60-80	39,30	41,60	46,00	50,30	46,25	50,02	40,20	52,95	42,50	45,00	31,80	36,50
	80-100	42,00	45,00	44,20	48,00	42,65	47,03	41,15	53,50	38,60	47,10	31,40	36,00
Profil č. 2: Rekultivace lesnická – přípravný porost <i>Alnus incana</i> s podsadbou <i>Acer pseudoplatanus</i>													
Velký Riesel (zalesnění 1961)	0-5	22,10	26,90	13,35	29,00	21,30	17,52	18,15	22,38	20,45	22,05	26,25	29,48
	5-10	26,80	29,30	18,10	30,90	18,89	26,70	20,30	24,60	14,19	18,38	20,00	23,40
	10-20	35,10	31,35	28,40	39,65	21,14	29,10	24,40	31,36	28,40	34,50	25,90	31,76
	20-40	39,20	51,45	31,55	42,30	32,55	41,36	29,85	38,54	31,93	40,74	30,27	36,15
	40-60	42,80	47,70	40,15	45,80	38,19	44,28	33,42	40,12	37,14	42,30	38,59	44,20
	60-80	45,00	49,45	42,30	49,00	42,10	46,80	37,51	43,30	39,85	48,26	41,55	49,37
	80-100	40,15	45,10	38,10	46,50	37,45	43,95	40,25	46,55	36,40	43,19	38,16	45,90

Profil č. 1													
Výsypka	Hloubka odběru [cm]	Jaro		Léto		Podzim		Jaro		Léto		Specif.povrch [m ² .g ⁻¹]	
		W	N	W	N	W	N	W	N	W	N		
Vilém (zalesnění 1930)	0-5	22,45	51,70	23,30	49,00	29,43	41,29	44,20	50,80	31,50	46,60	108,0	
	5-10	31,80	47,82	24,70	46,50	32,89	47,02	40,00	51,80	34,30	49,50	106,5	
	10-20	34,43	49,28	40,10	52,20	21,47	53,58	56,30	58,20	41,00	45,10	112,6	
	20-40	39,40	43,85	42,40	46,50	42,08	52,07	48,20	57,35	45,90	50,40	96,4	
	40-60	40,84	46,70	41,35	48,20	40,90	51,50	53,40	55,10	46,80	49,60	86,2	
	60-80	37,51	42,54	39,50	46,00	42,27	50,92	44,30	49,70	45,00	56,50	121,7	
Velký Riesel (zalesnění 1961)	0-5	42,06	49,51	41,70	48,50	39,44	46,91	53,40	53,70	46,35	50,80	105,2	
	5-10	26,35	29,80	18,19	24,04	12,64	23,30	20,16	26,60	16,23	21,32	36,9	
	10-20	19,82	22,14	13,18	19,27	11,36	15,10	18,40	21,35	15,40	26,10	20,6	
	20-40	38,05	44,26	21,08	30,62	19,16	31,40	26,10	30,19	23,56	31,58	20,6	
	40-60	42,50	47,30	34,90	41,74	30,06	39,44	30,63	37,45	34,25	40,16	72,5	
	60-80	40,10	45,84	39,45	46,81	34,20	41,65	31,50	39,19	28,44	35,20	81,0	
	80-100	44,65	49,22	37,20	45,19	36,81	40,22	34,35	42,73	30,90	39,05	97,3	

Tab. 4: Mikrobiologické vlastnosti výsypkových substrátů (výsypky Vilém, Velký Riesel –

Číslo vz.	Doba odběru	Hloubka odběru [cm]	Masopeptonový agar aerobní		Thortonův agar aerobní		Jonsenův agar plísňe	Ansbyho agar azotobakter	% vlhkosti
			Baktérie	Spórotvorné	Baktérie	Aktinomycety			
3	Duben	0-7	$8,98 \cdot 10^6$	$6,64 \cdot 10^4$	$3,59 \cdot 10^7$	$7,18 \cdot 10^6$	$2,60 \cdot 10^5$	<1	44,42
	Květen		$2,01 \cdot 10^7$	$3,47 \cdot 10^5$	$1,29 \cdot 10^7$	<1	$8,28 \cdot 10^4$	<1	40,24
	Červen		$2,82 \cdot 10^7$	$4,97 \cdot 10^5$	$2,43 \cdot 10^7$	$4,14 \cdot 10^5$	$1,72 \cdot 10^5$	<1	39,63
	Červenec		$3,00 \cdot 10^6$	$9,24 \cdot 10^4$	$7,06 \cdot 10^6$	$7,51 \cdot 10^4$	$1,50 \cdot 10^5$	<1	33,44
	Srpen		$7,40 \cdot 10^6$	$6,72 \cdot 10^4$	$1,89 \cdot 10^7$	$2,24 \cdot 10^5$	$1,53 \cdot 10^5$	<1	33,07
	Říjen		$1,26 \cdot 10^7$	$9,13 \cdot 10^4$	$6,77 \cdot 10^6$	$4,72 \cdot 10^5$	$8,50 \cdot 10^4$	<1	36,46
	Ø		$1,33 \cdot 10^7$	$1,93 \cdot 10^5$	$1,78 \cdot 10^7$	$1,50 \cdot 10^6$	$1,50 \cdot 10^5$	<1	37,86
4	Duben	7-30	$2,70 \cdot 10^6$	$5,18 \cdot 10^3$	$1,12 \cdot 10^7$	$2,16 \cdot 10^5$	$9,85 \cdot 10^3$	<1	30,45
	Květen		$1,13 \cdot 10^6$	$4,61 \cdot 10^4$	$5,19 \cdot 10^6$	$1,46 \cdot 10^5$	$7,24 \cdot 10^3$	<1	31,66
	Červen		$1,06 \cdot 10^7$	$3,60 \cdot 10^4$	$1,97 \cdot 10^7$	$1,50 \cdot 10^5$	$1,46 \cdot 10^4$	<1	33,39
	Červenec		$2,73 \cdot 10^6$	$1,05 \cdot 10^4$	$3,61 \cdot 10^6$	$8,11 \cdot 10^5$	$3,17 \cdot 10^3$	<1	32,18
	Srpen		$4,00 \cdot 10^6$	$8,44 \cdot 10^4$	$8,22 \cdot 10^6$	$4,52 \cdot 10^5$	$3,54 \cdot 10^3$	<1	33,69
	Říjen		$3,20 \cdot 10^6$	$4,17 \cdot 10^4$	$3,87 \cdot 10^6$	$2,98 \cdot 10^5$	$1,06 \cdot 10^4$	$7,00 \cdot 10^0$	32,87
	Ø		$4,06 \cdot 10^6$	$3,73 \cdot 10^4$	$8,63 \cdot 10^6$	$3,45 \cdot 10^5$	$8,16 \cdot 10^3$	$2,00 \cdot 10^0$	32,20
5	Duben	30-60	$3,59 \cdot 10^5$	$4,30 \cdot 10^2$	$1,63 \cdot 10^6$	$7,89 \cdot 10^4$	$4,81 \cdot 10^3$	$2,90 \cdot 10^1$	30,31
	Květen		$7,03 \cdot 10^5$	$1,78 \cdot 10^3$	$3,34 \cdot 10^6$	$7,10 \cdot 10^4$	$1,78 \cdot 10^3$	<1	29,58
	Červen		$1,61 \cdot 10^6$	$1,44 \cdot 10^3$	$3,10 \cdot 10^6$	$2,16 \cdot 10^5$	$5,26 \cdot 10^3$	<1	30,60
	Červenec		$4,60 \cdot 10^5$	$2,78 \cdot 10^3$	$3,38 \cdot 10^6$	$3,48 \cdot 10^4$	$1,18 \cdot 10^3$	<1	28,20
	Srpen		$2,57 \cdot 10^6$	$2,10 \cdot 10^4$	$7,89 \cdot 10^6$	$1,37 \cdot 10^5$	$2,40 \cdot 10^3$	<1	27,09
	Říjen		$9,68 \cdot 10^5$	$1,66 \cdot 10^4$	$1,67 \cdot 10^6$	$4,15 \cdot 10^4$	$2,00 \cdot 10^3$	$7,60 \cdot 10^1$	27,69
	Ø		$1,11 \cdot 10^6$	$7,33 \cdot 10^3$	$3,45 \cdot 10^6$	$9,65 \cdot 10^4$	$2,90 \cdot 10^3$	$1,83 \cdot 10^3$	28,91

V e l k ý

Číslo vz.	Doba odběru	Hloubka odběru [cm]	Masopeptonový agar aerobní		Thortonův agar aerobní		Jonsenův agar plísňe	Ansbyho agar azotobakter	% vlhkosti
			Baktérie	Spórotvorné	Baktérie	Aktinomycety			
1	Duben	0-20	$5,5 \cdot 10^6$	$6,37 \cdot 10^3$	$1,14 \cdot 10^7$	$4,34 \cdot 10^5$	$2,75 \cdot 10^4$	<1	30,96
	Květen		$1,07 \cdot 10^7$	$4,12 \cdot 10^4$	$1,04 \cdot 10^7$	$2,21 \cdot 10^5$	$1,37 \cdot 10^4$	<1	32,08
	Červen		$1,29 \cdot 10^7$	$1,10 \cdot 10^4$	$1,85 \cdot 10^7$	$4,27 \cdot 10^5$	$1,66 \cdot 10^4$	$7,26 \cdot 10^2$	29,72
	Červenec		$8,26 \cdot 10^6$	$2,41 \cdot 10^4$	$2,27 \cdot 10^7$	$1,38 \cdot 10^6$	$4,20 \cdot 10^3$	<1	27,39
	Srpen		$1,81 \cdot 10^7$	$3,22 \cdot 10^7$	$2,97 \cdot 10^7$	$2,12 \cdot 10^6$	$4,11 \cdot 10^3$	<1	29,42
	Říjen		$1,06 \cdot 10^7$	$7,32 \cdot 10^3$	$1,03 \cdot 10^7$	$5,53 \cdot 10^5$	$5,11 \cdot 10^4$	<1	27,62
	Ø		$1,10 \cdot 10^7$	$2,03 \cdot 10^4$	$1,71 \cdot 10^7$	$8,55 \cdot 10^5$	$1,95 \cdot 10^4$	$1,21 \cdot 10^2$	29,53
2	Duben	20-60	$3,30 \cdot 10^5$	$7,00 \cdot 10^1$	$1,87 \cdot 10^6$	$4,21 \cdot 10^4$	$3,51 \cdot 10^3$	$7,00 \cdot 10^1$	28,79
	Květen		$1,08 \cdot 10^6$	$8,96 \cdot 10^3$	$2,28 \cdot 10^6$	<1	$5,19 \cdot 10^3$	$2,10 \cdot 10^1$	29,73
	Červen		$2,66 \cdot 10^6$	$6,58 \cdot 10^3$	$2,52 \cdot 10^6$	<1	$5,04 \cdot 10^3$	$2,10 \cdot 10^1$	28,59
	Červenec		$3,86 \cdot 10^6$	$7,86 \cdot 10^3$	$1,17 \cdot 10^7$	$2,66 \cdot 10^4$	$3,00 \cdot 10^3$	$1,53 \cdot 10^2$	24,94
	Srpen		$4,99 \cdot 10^5$	$3,94 \cdot 10^3$	$3,15 \cdot 10^6$	$6,56 \cdot 10^4$	$1,77 \cdot 10^3$	$5,97 \cdot 10^2$	23,80
	Říjen		$2,44 \cdot 10^6$	$2,84 \cdot 10^4$	$4,88 \cdot 10^6$	$2,71 \cdot 10^4$	$5,53 \cdot 10^3$	$1,30 \cdot 10^1$	26,19
	Ø		$1,81 \cdot 10^6$	$9,30 \cdot 10^3$	$4,40 \cdot 10^6$	$2,69 \cdot 10^4$	$4,00 \cdot 10^3$	$1,45 \cdot 10^2$	27,00

4 Diskuze a výsledky

Pedologický a ekologický význam půdních substrátů na výsypkách (obrázek č. 4) nově vznikajícího lesa na antropogenních substrátech (vyjádřený ekologickou stabilitou, případně labilitou) se opírá o dlouhodobá sledování (1961-2014) půdní chemie

(viz tabulky č. 1a, b, c), půdní fyziky (viz tabulky č. 2, 3), hydro-pedologie, mikrobiologie (viz tabulka č. 4) a emisního zatížení (viz tabulka č. 5, 6) [1,3,4,32,33,34,49,50].

Tabulky č. 1a, b, c udávají celkové obsahy důležitých biogenních prvků pro vývoj lesních i zemědělských kultur pěstovaných

na výsypkových stanovištích. Na základě docílených vegetačních výsledků bylo prokázáno, že vysoký obsah Mg má přímo stabilizační význam pro rostliny a dřeviny a jejich odolnost vůči produkováním exhalátům SO_2 , F, prachu apod. Z tabelárních výsledků je patrné, že antropogenní výsypkové substráty jsou po stránce chemismu velmi vhodné pro pěstování zemědělských a zejména lesních kultur na všech výsypkách v Sokolovské hnědouhelné pánvi. Určujícím faktorem pro růst a vývoj jak zemědělských, tak - a to zejména - lesních kultur na výsypkových stanovištích je proměna strukturálního stavu zpevněných jílu a jílovců zvětrávacími procesy a tím i průběhem vodního režimu.

Zrnitostní složení je u všech analyzovaných vzorků určováno především primárním strukturálním stavem sypaných nadložních zemin na povrch výsypky, intenzitou rozpadu zpevněných forem jílu cyprisové série a stářím vzniku výsypky (viz obrázek č. 1). Dané strukturální proměny mají rovněž vliv na momentální vlhkost jednotlivých vrstev profilu (viz tabulka č. 3).

Primárním předpokladem pro obnovu veškeré vegetace na výsypkových stanovištích je půdní fyzika. Pro získání základních charakteristik půdní fyziky na výsypkových stanovištích byly vytvořeny metodické postupy vzniklé ve spolupráci s katedrou hydromeliorací ČVUT Praha. Na základě rozborů bylo zjištěno, že vlhkostní podmínky jednotlivých vrstev sledovaných profilů na výsypkových stanovištích jsou dány strukturálním stavem jednotlivých vrstev na povrchu výsypek. Nejpriznivější fyzikální a hydropedologické vlastnosti profilů vykazují profily složené z jílu strukturálně lístkovitě zpevněných. Rovněž nemalý vliv na vlhkostní podmínky půdních substrátů pod různorodou skladbou lesních porostů má intenzita rozpadu zpevněných forem jílu a jílovců - zápoj (konkrétněji čím hustší zápoj, tím větší vlhkost, čím řidší zápoj, tím větší výpar a menší vlhkost).

Z tabulky č. 5 a 6 vyplývá, že stanovený obsah těžkých kovů u výsypkových profilů je na základě našich rozborů příznivý.

Podrobné závěry provedených analýz jsou uvedeny v příspěvku [31], publikovaném ve sborníku z celostátní konference „Rozvoj lesnické typologie a její využití v lesnické praxi“, Těchov-Čerhovice, 2012.

V provedené srovnávací analýze byly v úvahu ještě vzaty – výskyt akumulace SO_2 , fluoru a dusíku v asimilačních orgánech stanovených listovou analýzou, přitom hlavní pozornost byla upřena na dřeviny jehličnaté. Při hledání přímých a zpětných vazeb jednotlivých činitelů nejvíce ovlivňujících ekologickou stabilitu lesa na antropogenních substrátech (výsypkách) v imisních oblastech byly zjištěny jako významné tyto autoregulační půdní a bio mechanismy:

- pufrovitost půdních substrátů,
- pH a sorpční vlastnosti,
- celkový obsah Mg a jeho migrace v procesu perkulace,
- obsah organické půdní složky (humusu),
- genetické vlastnosti pěstovaných dřevin,
- klimaxové vlastnosti dřevin domácího a introdukovaného původu se zvláštním zřetelem na výškovou pásmovitost v původních areálech jejich výskytu,
- volba dřevin listnatých a listnato-jehličnatých,
- množství imisí prudkých, vleklých a jejich setrvalý stav na meteorologické stanici na výsypce Velký Riesel a Antonín,
- množství atmosférických srážek a relativní vlhkost vzduchu [6,38,47,52].

Pro lepší přehlednost reprodukovatelných výsledků provedených analýz, vizuálně odpozorovatelných znaků u pěstovaných

Tab. 5: Výsledky rozborů rostlin na těžké kovy u profilů převrstvených ornici a bez ornice (1978).

Lokalita		Číslo vz.	Cd	Pb	As	Hg	Cr	Ni	Co	Zn
		[mg.kg ⁻¹]								
Gustav I.	N	9107	0,25	1	1,7	0,02	1	1	1	71
	P	9108	0,35	10	1,1	0,14	10	1	1	1420
	K	9109	0,10	1	0,7	0,05	1	1	1	55
Gustav II.	N	9111	0,15	7	1,1	0,11	1	1	1	667
	P	9113	0,15	1	2,2	0,11	1	1	1	91
	KS	9112	0,10	1	0,8	0,07	1	1	1	180
	K	9110	0,30	3	1,6	0,12	1	1	1	387
Limit krmiv suchá			1	15	6	0,3	15	15	15	250

Vysvětlivky: N – dusík, P – fosfor, K – kontrola (neprevrstvená), KS – kejda skotu.

Tab. 6: Výsledky rozborů výsypkových substrátů na těžké kovy (1978).

Lokalita		Číslo vz.	Cd	Pb	As	Hg	Cr	Ni	Co	Zn
		[mg.kg ⁻¹]								
Matyáš		5279	0,15	18,2	2,2	0,07	4,0	9,1	15,1	32,5
Lítov		5280	0,10	17,6	3,3	0,06	3,9	6,4	11,4	20,7
Loket 1		5281	0,10	7,8	6,1	0,06	5,0	15,8	11,9	39,1
Gustav		5389	0,05	3,3	14,7	0,08	3,5	2,4	2,7	8,8
Limit půda			3,0	100	20	2	100	50	50	300

dřevin a zemědělských plodin provedeme zobecnění ve stejné posloupnosti uvedených autoregulačních faktorů:

1. Pufrovitost (ústojčivost), jako odvozená pedologická charakteristika, je schopnost eliminovat změny reakce (pH) vstupem kyselin nebo zásad do půdního prostředí. Pufrovitost je podmíněna:

- a) obsahem jílové frakce a zejména koloidního jílu,
- b) obsahem uhličitánů – Ca a Mg a jejich kationtů v sorpčním a půdním roztoku [40,45,48].

Zájmové půdní substráty na výsypkách jsou terciárního miocenního stáří (jíly cyprisové a vulkanodetritické série). V důsledku vysokého obsahu jílové frakce (70-90 %) jsou velmi dobré proti změnám pH. Množství oxidu siřičitého bylo v oblasti 120 000 t/rok a tento stav byl po dobu sledování okyselování setrvalý. Propočtem zjištěné množství síry na 1 ha (podle imisního zatížení v areálu pokusných ploch) je 13 až 26 kg. Za dobu 28 let došlo pod listnatými porosty (*Alnus glutinosa*, *Alnus incana*, *Fraxinus excelsior*, *Acer pseudoplatanus*, *Acer platanoides*, *Carpinus betulus*, *Ulmus minor*, *Ulmus glabra*, *Quercus petraea* a různé kultivary topolů) a také na jetelotravních směsích ke snížení o 0,8 pH (1961 – 7,6; 1989 – 6,8 pH/KCl). U analogických antropogenních substrátů však pod jehličnatými monokulturami (*Picea abies*, *Larix decidua*, *Pinus nigra*, *Pinus strobus*) došlo ke snížení o 2,7 pH. Tyto výsledky nasvědčují tomu, že u půdních substrátů s vysokou pufrovitostí má na snížení pH větší vliv skladba dřevin než kumulace sloučenin síry z ovzduší v půdních substrátech pod sledovanými lesními porosty různých věkových tříd. Podobné proměny se projevují rovněž u jetelotravních směsí s podobnou strukturou profilu jako u porostů lesních [6,5,7,8,11,23,29,31].

2. Acidita půd koncem minulého století, tj. v době radikálních ekologických proměn, patřila k nejvíce diskutovaným problémům. Proces okyselování půd je v drtivé většině spojován s výskytem a působením tzv. kyselých dešťů. V důsledku toho díky některým vědeckým pracovníkům, společně s administrativně schopnými pracovníky resortu bývalého Ministerstva lesního a vodního hospodářství, se přistoupilo při „záchraně“ lesa v imisních oblastech ČSFR k velkoplošnému vápnění, bez ohledu na exaktní ověření jeho působení proti okyselení půd různých druhů a typů na dřevinnou skladbu porostů nebo na vynaložené obrovské finanční prostředky (Krušné hory, Jizerské hory). Tomuto spásitelnému trendu nezabránilo dosud ani seriózní výzkumy zpochybňující toto opatření. Vzhledem k faktu, že jen nadhozená úvaha problematiky celoplošného vápnění půd vyžaduje mnohem podrobnější analýzu a vzhledem k tomu, že se vymyká náplni předloženého příspěvku, přidržíme se výsledků ex argumentis získaných na antropogenních půdních substrátech podobně imisně zatížených jako v oblasti s celoplošným vápněním (Krušné hory, Jizerské hory) [20,38,43,52]. V rámci ověřovacích zkoušek obnovy lesa na antropogenních půdních substrátech po dobu šesti desetiletí byla systematicky sledována otázka změny pH jak vlivem imisního zatížení, tak i skladbou dřevin pěstovaných na výsypkových stanovištích (výsypky Velký Rísel a Vilém). Téměř sedmdesátileté výsledky v oblasti sledování změny pH vlivem emitovaných sloučenin síry, fluoru a prachu na antropogenních substrátech ukazují na tyto vzájemné souvislosti:

- půdní substráty s nepromyvnými horizonty profilů, s dostatečným obsahem kationtů Ca a Mg, s dobrými sorpčními vlastnostmi a příznivými formami humusu vykazují vysokou až velmi vysokou profilakční schopnost proti systematickému i periodickému vstupu sloučenin síry do půdních profilů. Tato kategorie půd (převážná část výsypek) poskytuje při vhodné volbě druhové skladby (listnaté, smíšené porosty) dostatečný prostor pro zachování ekologické stability zakládaných porostů;
- u sorpčně nasycených půdních substrátů, kromě příznivého pH (6,3 – 7,4), má z hlediska ekvalence (tolerance, odolnosti, flexibility) dřevin nezastupitelnou funkci celkový obsah hořčíku a jeho migrace ve fyziologické hloubce profilů a asimilačních orgánech dřevin. Na základě půdních a listových analýz [20] bylo zjištěno, že s přibývajícím množstvím hořčíku v asimilačních orgánech se zvyšuje tolerance dřevin vůči imisnímu zatížení SO₂ a F. Zatímco SO₂ v asimilačních orgánech je složkou variabilní (podmíněnou množstvím atmosférických srážek, relativní vlhkostí vzduchu apod.), fluor se ukazuje jako složka méně pohyblivá. Starší ročníky jehličí (*Pinus*, *Picea*, *Pseudotsuga*) obsahují 2 až 3 krát větší množství fluoru než jehlice jednoleté. Průměrný obsah Mg se u půdních substrátů výsypek Sokolovska pohybuje v úzkém rozpětí 1,3 až 1,6 % nebo nad 460 mg/kg zeminy, což se považuje za vysoký obsah Mg. Pro zajímavost ještě uvádíme, že v mnoha případech je obsah Mg okolo 1 200 mg/kg Mg. Toto množství Mg lze považovat za velmi vysoké. Stanovená zásoba Mg v asimilačních orgánech listnáčů (*Alnus*, *Acer*, *Fraxinus*, *Ulmus*) je velmi příznivá (0,16-0,32 %), u jehličnanů je nižší, a to 0,09-0,18 % (výsypka Antonín – zal. 1968, Velký Rísel – 1961, Vilém – 1931). Porovnáme-li množství Ca a Mg u zkoumaných půdních substrátů, zjistíme dosti výjimečný jev, a to převahu Mg nad Ca. Příjem Mg dřevinami je rozdílný a vesměs přímo úměrný pH. Se zvyšující se kyselostí půdních substrátů klesá příjem Mg a naopak. Podobná gradace byla zjištěna i u obsahu Ca (Bohemia, Vilém, Velký Rísel).

3. Migrace Mg a Ca v jednotlivých vrstvách výsypkových substrátů je podmíněna:

- a) intenzitou zvětrávání zpevněných jílovitých zemin,
- b) výskytem ve formě síranu a uhličitanu hořečnatého,
- c) perkolací (vyplavováním) preferenčními cestami srážkové vody, vytvořenými mikro a makropóry [34,37].

4. Dalším autoregulačním mechanismem, podstatnou měrou ovlivňujícím schopnost tolerance dřevin proti přímému a zprostředkovanému působení imisí, je množství a kvalita organické půdní složky (humusu). Na rozdíl od rostlých lesních půd u výsypkových půdních substrátů je organická složka dvojího původu:

- a) primárního z období sedimentace v historické době,
- b) sekundárního – produkt opadu asimilační hmoty a ostatních rostlinných zbytků (větví, bylinné patro).

Z provedených analýz, vyjádřených poměrovými hodnotami huminových kyselin a fulvokyselin, a odpozorovatelných znaků zdravotního stavu pěstovaných listnatých, jehličnatých a smíšených porostů vyplývá zásada, že se zvyšujícím se množstvím a kvalitou organické půdní složky, primárního a sekundárního

původu, se úměrně zvyšuje tolerance dřevin vůči imisím, a tím i jejich ekologická stabilita. Kvalitativně nejprůzračnější formu humusu vykazují:

- porosty *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus* a *Tilia cordata* (Antonín),
- porosty *Ulmus scabra* a *Carpinus betulus* (Antonín),
- porosty *Alnus incana* a *Alnus glutinosa* (Bohemia, Vilém, Velký Riesel).

Hodnotíme-li množství opadu u zkoumaných dřevin, dostaneme toto pořadí:

- Populus berolinensis*, *Populus marilandica* (Velký Riesel)
- Alnus glutinosa*, *Acer pseudoplatanus* (Vilém)
- Alnus incana*, *Ulmus glabra* (Vilém) [16,24,28,29].

5. Ukazuje se, že nemalý vliv na ekovalenci dřevin, proti působení SO_2 , má rovněž obsah dusíku v půdě a v asimilačních orgánech. Vysokou až velmi vysokou ekovalenci vykazují porosty pěstované na antropogenních substrátech s obsahem humusu a jeho rovnoměrné mineralizace. Tyto substráty - minerálně bohaté, skýtají po určité době příznivé podmínky pro rozvoj mikroorganismu podporující nitrifikační procesy [37,19,53]. Podle provedených mikrobiálních testů (viz tabulka č. 4) nejprůzračnější nitrifikační podmínky mají půdní substráty pod různorodými porosty listnatými a smíšenými, složené ze strukturních forem jílů, bohaté $\text{Ca} + \text{Mg}$ s příznivou reakcí a mezními hodnotami výměnného pH 6,4 – 7,2. Příznivou půdní reakci vykazují protopedoprofile, u nichž je množství $\text{Ca} : \text{Mg}$ v poměrovém vyjádření 1,3 : 1,5 a sesquioxidy $\text{Fe} : \text{Al}$ 5,0 : 3,0. Protopedoprofile s poměrovými hodnotami $\text{Ca} : \text{Mg}$ (0,15 : 0,05); $\text{Fe} : \text{Al}$ (5,2 : 2,2) jsou zcela fytotoxické ($\text{pH} = 2,2$), většinou jsou tvořeny nadložními zeminami pocházejícími z bezprostřední blízkosti uhelné slaje (výsypka Litov). U tohoto typu nadložních zemin je průměrný obsah síry 1,7 %. Odzkoušené opakované vápnění v různých dávkách se ukázalo jako meliorační opatření naprosto neúčinné. Jedinou možnou cestou navrácení takovýchto typů fytotoxických zemin na výsypkách lesní výroby je jejich převrstvení/zúrodnění schopnými zeminami (veškeré nadložní zeminy mimo areál bezprostřední blízkosti uhelné slaje) nebo vpravováním uhličitane vápenatého – tzv. stabilizátu vykazujícího pH (KCl) 9,6, odpadu z odsiřovacích zařízení [1,2,12,52].

6. Dostatečný prostor pro ekologickou stabilitu antropogenních substrátů a její hodnocení poskytují i velmi zajímavé výsledky dosahované u pěstovaných druhů introdukovaných dřevin (*Pinus murrayana*, *Pinus contorta*, *Pinus nigra*, *Pinus ponderosa*, *Pinus jeffreyi*, *Picea pungens*, *Picea omorica*, *Picea glauca*, *Pseudotsuga menziesii* a další) na antropogenních výsypkových stanovištích. Porovnáme-li stanovištní podmínky výsypek (půdní, klimatické, emisní zatížení – SO_2 , F, N, pevný spád) ve vztahu k výškové pásmovitosti uvedených a jiných introdukovaných dřevin, zjistíme některé vzájemné vazby opírající se o vztahy stupně ekovalence dřevin proti působení imisí podle:

- výškové pásmovitosti zkoumaných druhů v původním areálu výskytu,
- odolnosti ekotypu proti mrazu,
- tepelných výkyvů v autochtonním prostředí [16,54].

Získaná evolučně genetická proměnlivost druhů, vlivem působení výše uvedených faktorů v původním areálu jejich výskytu, se projevuje jako určující faktor autoregulační a tím i stabilizační i na výsypkových stanovištích.

5 Závěr

Z dosavadní interpretace výsledků výzkumu v oblasti dendrologie, pedologie, agrobiologie, hydropedologie a v dalších oborech, týkajících se dané problematiky a jednotlivých prací autorů předaných realizačním složkám v oblasti rekultivací (Sokolovská a Severočeská hnědouhelná pánev) vyplývá, že problematice kvality antropogenních půdních substrátů pro následný vznik a vývoj půdy vyjádřené dendroekologickou a agrobiologickou stabilitou byla věnována dostatečná pozornost. Důkazem toho je vypracovaná metodika „Zemědělské, lesnické a hydričké rekultivace území ovlivněných báňskou činností“ (1999). Pro další vývoj v oblasti tvorby průmyslové krajiny prostřednictvím zejména lesních ekosystémů na výsypkách České republiky bude třeba, aby výzkum dořešil následující provozní požadavky:

- vymezení devastovaných ploch určených pro rekultivaci lesnickou, zemědělskou, hydričskou a tzv. ostatní,
- zastoupení dřevin listnatých, jehličnatých, případně keřů podle potenciální úrodnosti jednotlivých výsypek,
- volbu vhodných směsí zemědělských plodin a lesních dřevin na základě charakteru výsypkových stanovišť,
- stanovení časového intervalu obnovy zemědělských a lesních porostů v jednotlivých regionech těžby hnědého uhlí,
- stanovení ekonomických parametrů podle způsobů zakládání lesních kultur (listnaté, přípravné, smíšené, jehličnaté), kvality porostů a v neposlední řadě i pořizovacích finančních prostředků,
- stanovení systému obnovy zemědělských a lesních kultur,
- obnova vodního režimu průmyslové krajiny formou vzniku nových vodních ploch zatápěním lomů a ostatní vodní sítě,
- současný hlavní cíl - vypracování lesnické rekultivační typologie.

Z výše uvedeného vyplývá, že cíl práce byl splněn a současné výsledky výzkumu jsou tedy vhodným východiskem pro obnovu krajiny postižené těžbou nerostných surovin.

Literatura

- BENEŠ, S., PABIÁNOVÁ, J.: Přirozené obsahy, distribuce a klasifikace prvků v půdách. VŠZ katedra půdoznalství, 1987.
- BENEŠ, S., SEMOTÁN, J., VORÁČEK, V.: Klasifikace nadložních zemin pro účely rekultivace v Sokolovském hnědouhelném revíru. Závěrečná zpráva, ČVUT, 1964.
- BENEŠ, K.: Tektonika a rozšíření slojí střední části Sokolovské hnědouhelné oblasti. Sloj Antonín z pánve Sokolovské a její nadloží. Sborník VŠB Ostrava, příl. Přírodov. sbor. ostr. kraje, sv. 10:30-32, 150-156.
- BRUNCLÍK, O., BENEŠ, S., VLK, K.: Geologie a půdoznalství. III. a geologie I., VŠZ 1986, Praha, s. 127.
- DAŇKO, V.N.: Ljupin mnoholetnj v lesnych kulturach pri rekultivacii zemel na Ukraine. 1980.
- DARMER, G.: Zur forstlichen Rekultivierung schwierigen Kippenboden in Braunkohlentagebauegebiet, Forst u. Jagd Jg. 5, 1955.

- [7] DAVIS, G., MELTON R.E.: Trees for graden strip-mine spoils. The Pennsylvania State Forestry School Res. Paper No. 32, 1963.
- [8] DILLA, L.: Wo neue Walder waschen. Informationen Rheinbraun 2, Auflage Dezember 1969.
- [9] DIMITROVSKÝ, K.: Příspěvek k poznání chemických vlastností zemin složených z cyprisových jííl na některých výsypkách v Sokolovském revíru. Vědecké práce VÚM, č. 7, s. 157-176, 1965.
- [10] DIMITROVSKÝ, K.: Výzkum infiltrační schopnosti půd v oblasti SHR a Krušnohoří. Studie, Geografický ústav ČSAV, Brno 1966: 126 s.
- [11] DIMITROVSKÝ, K., VESECKÝ, J.: Přeměny přípravných olšových porostů na výsypkách kotlíkovou sečí. Lesnická práce 46, 1967, s. 121-125.
- [12] DIMITROVSKÝ, K., VESECKÝ, J.: Vliv lesních porostů na tvorbu půdy na výsypkách. Lesnictví, 6, 1969: s. 539-558.
- [13] DIMITROVSKÝ, K.: Asanace a rekultivace v rudných revírech. Závěrečná zpráva Ústavu tvorby a ochrany krajiny ČSAV, 1970: 61 s.
- [14] DIMITROVSKÝ, K., VESECKÝ, J.: Některé aspekty způsobů zakládání a výchovy lesních porostů na výsypkách v Sokolovském revíru. Lesnictví 17, 1971, 5: 484-504.
- [15] DIMITROVSKÝ, K.: Infiltrace jako ukazatel retence půd v oblasti SHR a Krušných hor. Sborník referátů, Mezinárodní porada o životním prostředí, ČSAV Praha 1971.
- [16] DIMITROVSKÝ, K.: Lesnické rekultivace antropogenních půd v oblasti Sokolovského hnědouhelného revíru. Monografie Praha 1976.
- [17] DIMITROVSKÝ, K.: Kulturní a estetický význam vody. Dům techniky ČVTS Praha, 1976.
- [18] DIMITROVSKÝ, K., KOUTNÝ, D., VESECKÝ, J.: Rekultivační arboretum na Sokolovsku. SZN Praha. Lesnická práce 3, 1984.
- [19] DIMITROVSKÝ, K.: Lesnická rekultivace antropogenních půdních substrátů. SZN Praha, 1989.
- [20] DIMITROVSKÝ, K., VESECKÝ, J.: Lesnická rekultivace antropogenních půd vzniklých báňskou a průmyslovou činností. SZN, 1989, s. 140.
- [21] DIMITROVSKÝ, K.: Zavedení kategorizace potenciální úrodnosti antropogenních půd. VÚZZP, 6 tab., 2 obr., 30 lit., 36 s., 1990.
- [22] DIMITROVSKÝ, K.: Zemědělské, lesnické a hydrikové rekultivace území ovlivněných báňskou činností. Metodika ÚZPI, 14/2999.
- [23] DIMITROVSKÝ, K.: Tvorba nové krajiny na Sokolovsku. Praha, ČZU 2001.
- [24] DIMITROVSKÝ, K.: Přístupy obnovy vegetace v podmínkách těžby hnědého uhlí na Sokolovsku II. Rizikové prvky v potravinovém řetězci v Sokolovském regionu. ČZU Praha, DZZ 2004.
- [25] DIMITROVSKÝ, K.: Zhodnocení vývoje kořenového systému a použití kompostů na lesnických rekultivacích na DNT v roce 2005. ČZU Praha, DZZ 2005.
- [26] DIMITROVSKÝ, K.: Kategorizační procesy obnovy krajiny postižené báňskou a ostatní průmyslovou činností. Dílčí závěrečná zpráva ČZU, Praha 2005.
- [27] DIMITROVSKÝ, K., KUNT, M., PROKOPOVÁ, D., ŠTIBINGER, J.: Problematika obnovy lesů na výsypkových stanovištích, jejich vývoj, struktura a skladba. Sborník referátů FŽP J.E.Purkyně Ústí nad Labem, 2008.
- [28] DIMITROVSKÝ, K., KUNT, M.: Unikátní rekultivační lesnické arboretum na Sokolovsku slaví svou 36-letou existenci. Sborník referátů z 11. uhelně-geologické konference. Přírodovědecká fakulta UK Praha, 2008.
- [29] DIMITROVSKÝ, K., KUNT, M., KUPKA, I.: Rekultivační dendrologie. Sborník referátů z konference Obnova lesního prostředí při zalesnění nelesních a devastovaných stanovišť. Kostelec nad Černými lesy, s. 21-26, 2008.
- [30] DIMITROVSKÝ, K., KUNT, M., KUPKA, I., ŠTIBINGER, J.: Problematika obnovy lesů na výsypkových stanovištích, jejich vývoj, struktura a skladba. Sborník referátů z konference Obnova lesního prostředí při zalesnění nelesních a devastovaných stanovišť. Kostelec nad Černými lesy, s. 13-20, 2008.
- [31] DIMITROVSKÝ, K., DOLEŽELOVÁ, D., ELIÁŠOVÁ, B.: Lesnická typologie a její využití v lesnické rekultivaci antropogenních substrátů. Sborník referátů z konference u příležitosti nedežitého devadesátin pana Ing. Karla Plívy: Rozvoj lesnické typologie a její využití v lesnické praxi. Těchov-Čerhovice, 2012.
- [32] FRIESER, A.: Přehledná mapa hnědouhelných revírů Falknov, Loket a Karlovy Vary. Praha, 1929.
- [33] HOKR, Z.: Terciér Sokolovské hnědouhelné pánve. Sborník Ústř. Úst.geol., sv. 26 – geol. 2: 119-174, 1961.
- [34] HRAŠKO, J.: Rozbory pôd. Slov. vydav. pôdohospodárekej lit., Bratislava, 1962.
- [35] HRAZDÍRA, J., RÁŽ, J.: Sanace a rekultivace bývalého hnědouhelného lomu Medard – Libík. Sborník příspěvků z konference Jezera a mokřady ve zbytkových jamách po těžbě nerostů, 2013.
- [36] JONÁŠ, F., SEMOTÁN, J.: Klasifikace nadložních zemin pro účely rekultivace v severočeském hnědouhelném revíru. VÚM Praha, 1958.
- [37] JONÁŠ, F.: Rekultivace záruka obnovy průmyslové krajiny. Ochrana přírody č. 1, 1961.
- [38] JONÁŠ, F., DIMITROVSKÝ, K.: Hydropedologická charakteristika výsypkových zemin v oblasti SHR a HDBS. Dílčí závěrečná zpráva. Praha, VÚM 1972.
- [39] KOLARÍK, J. et al.: Péče o dřeviny rostoucí mimo les II. ČSOP Vlašim, 2005, 720 s.
- [40] KUNT, M., DIMITROVSKÝ, J., MODRÁ, B.,

- PROKOPOVÁ, D.: Rekultivace fytotoxických výsypkových substrátů. Sborník ČZU FLE Obnova lesního prostředí při zalesňování nelesních a degradovaných půd. Kostelec n. Č. Lesy, 2007.
- [41] KUTÍLEK, M.: Hygroskopická půdní vláh I, II. Vodohospodářský časopis SAV 10, 1, 2, II-29, 156-173, 1962.
- [42] KUTÍLEK, M.: Vliv humusu na hygroskopickou půdní vláhu. Vodohospodářský časopis SAV, 10, 3, s. 321-329, 1962.
- [43] KUTÍLEK, M.: Stanovení specifického povrchu půd a zemin. Práce ČVUT I, č. 3, 1963 SPN Praha, 1963.
- [44] KUTÍLEK, M.: Hydropedologie. SNTL Praha 1967.
- [45] KUTÍLEK, M.: Vodohospodářská pedologie. Praha, 2.vydání, SNTL, 1977.
- [46] KUTÍLEK, M., NIELSEN, D.R.: Soil hydrology. Geocology textbook, Catena Verlag, 38 162 Cremlingen Destedt, Germany, s. 98-102, 1994.
- [47] MAŘAN, B., KÁŠ, V.: Biologie lesa, I. díl. Pedologie a mikrobiologie lesních půd. Melantrich, Praha, 1948.
- [48] MATERNA, J.: Výživa a hnojení lesních porostů. SZN Praha, 227 s., 1963.
- [49] MATERNA, J., MEJSTRÍK, V.: Zemědělství a lesních hospodářství v oblastech se znečištěným ovzduším. SZN Praha, 149 s., 1987.
- [50] PEŘINA, V. at al.: Stav a vývoj lesů ČSSR. Sborník ČSAZ 113, Praha, 86 s., 1987.
- [51] PHILIP, J.: Numerical solutions of equations of the diffusion type with diffusivity concentration dependent. Trans. Faraday Soc. 51. 885-892.
- [52] PICHLER, E.: Prováděcí dokumentace pro stavební a vodoprávní řízení stavby zatopené zbytkové jámy lomu Medard – Libík, 3. stavba – monitoring podzemních vod. VÚHU, a.s. Most, 2006.
- [53] RŮŽEK, L., VOŘÍŠEK, K.: Vybrané kapitoly z pedobiologie a mikrobiologie. ČZU Praha, 2003.
- [54] SEMOTÁN, J.: Rekultivační charakteristika terciálních jíílů pro tvorbu půd v oblasti Severočeské a Sokolovské uhelné pánve, Sborník Meliorace – ÚVTI 1/1, 13-24, 1965.
- [55] SEMOTÁN, J., DIMITROVSKÝ, K.: Charakteristika vodního režimu a propustnosti některých jílovitých výsypků v oblasti HDBS. Sborník referátů – III. mezinárodní symposium o rekultivaci, Praha 1967.
- [56] SVOBODA, I.: Souhrnný plán sanace a rekultivace území dotčeného těžbou Dolů Nástup Tušimice. R-Princip Most, s.r.o., září 2012.
- [57] ŠTÝS, S. et al.: Rekultivace území postižených těžbou nerostných surovin. SNTL Praha, s. 680, 1981.
- [58] USDA FOREST PRODUCTS LABORATORY: Wood handbook – Wood as an engineering material, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI 1999, pp. 569-573, 2003.
- [59] BINLIN DOU, JINSHENG GAO, XINGZHONG SHA, SEUNG WOOK BAEK: Catalytic cracking of tar component from high temperature fuel gas. Applied Thermal engineering 23 (2003), pp. 2229-2239.