

Analýza využiteľnosti dnových sedimentov zo Slnčných jazier v Senci

Renáta Adamcová¹, Juraj Miškolci¹, Tatiana Durmeková¹, Martin Bednarik¹, Inge Wimmer-Frey² & Martin Valter³

¹Katedra inžinierskej geológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava; adamcova@fns.uniba.sk

²Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien, Österreich

³Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Geotechnik, HIF D20, 8093 Zürich, Schweiz

AGEOS Usability analysis of bottom sediments from the Slnčné jazerá Lakes in Senec

Abstract: Technology applied for revitalization of the Slnčné jazerá Lakes in Senec (town in western Slovakia) produced a temporary landfill of pumped and separated fine-grained bottom sediments. To minimize disposed waste, landfilled sediments were analysed and some potential geotechnical and environmental applications were considered. Mineral composition was studied by the X-ray diffractometry. Grain-size analyses and tests on Atterberg consistency limits allowed the engineering-geological classification: sandy (clayey) silt sa(cl)Si according to EU standards or F3 and F5, symbols MS and MI, according to STN 72 1001. Other tests: moisture, consistency and compactibility; on compacted samples, dry bulk density, compressibility and hydraulic conductivity. Geochemical analyses included: soil reaction *pH*, cation exchange capacity (CEC), organic matter (C_{org}) and carbonates. Dangerous substances were analysed earlier. Comparison with relevant technical standards and limits given by law followed. Although no contamination limits for soils were reached, the sediments are neither suitable for a direct application to agricultural nor to forest soils, as C_{org} is insufficient (2.5%). Nor any direct geotechnical application was found, the moisture is too high (53.3%) – they are liquid, impossible to compact, therefore, not suitable for road embankments or mineral liners of landfills. All other problems are less significant. Addition of peat or compost to improve the soil fertility could bring the only one feasible practical application; treatment is suitable especially for decorative plants, efficiency must be considered. Moisture reduction/consistency change cannot be reached by temporary landfilling because of low hydraulic conductivity. Other drying methods are expensive.

Key words: Slnčné jazerá Lakes, bottom sediments, soil, road embankments, mineral liner of landfill

1. ÚVOD

Slnčné jazerá v Senci sú obľúbeným rekreačným strediskom na západnom Slovensku. Vznikli ťažbou fluvialneho pleistocénneho piesčitého štrku, pôvodne prekrytého holocénym nivným pokryvom (povodňové ílovité až ílovito-piesčité hliny; Bezák et al., 2009). Ťažba začala už v roku 1845 a ukončená bola v roku 1978. Výsledných päť jazier neskôr prepojili a upravili na rekreačné stredisko, ktoré ročne navštívi asi 800 000 až milión turistov (Fedor et al., 2004). Na dne jazier sa postupne hromadili sedimenty antropogénneho, chemického a biogénneho pôvodu. Tie doplnil materiál z abrázie brehov a eolický prínos, vrátane prachu z oblastí severne od jazier, ktoré pokrývajú vrchnopleistocénne sprašové hliny značnej hrúbky a rozlohy (Bezák et al., 2009). V dnových sedimentoch dominuje jemnozrnná frakcia (< 0,063 mm). Rozvírené usadeniny spôsobovali kalenie vody, podporovali kvasné procesy a zhoršovali kvalitu vody. Ich hrúbka bola premenlivá, od 0 až do 3 m, celkový objem bol odhadnutý na 218 000 m³ (M. Sočuvka – ústna informácia). Pre obnovenie ekologickej stability jazier, zabezpečenie kvality vody na rekreáciu a pre zlepšenie turistickej atraktivity mesto pristúpilo k revitalizácii, založenej na odstránení jemnozrnných dnových sedimentov a prehĺbení jazier. Sanáciu realizovala v rokoch 2006 až 2008 firma DETOX, s. r. o., Banská Bystrica. Sedimenty boli odsávané z dna plávajúcim sacím bagrom a po-

trúbim transportované na severný breh. Z vyťaženého kalu sa v centrifúge a dvoch odkalovacích nádržiach (Obr. 1) oddelila väčšia časť pevnej fázy a prečistená voda odtekala späť do jazera. Pri realizácii sanačných prác neboli použité žiadne chemické látky (<http://enviroportal.sk/clanok.php...>, 2009). Oddelené sedimenty sa ukladali na dočasnej skládke, odkiaľ boli odvážané na riadenú skládku ako odpad. Vynorila sa preto otázka, ako by sa tento materiál dal racionálne využiť.

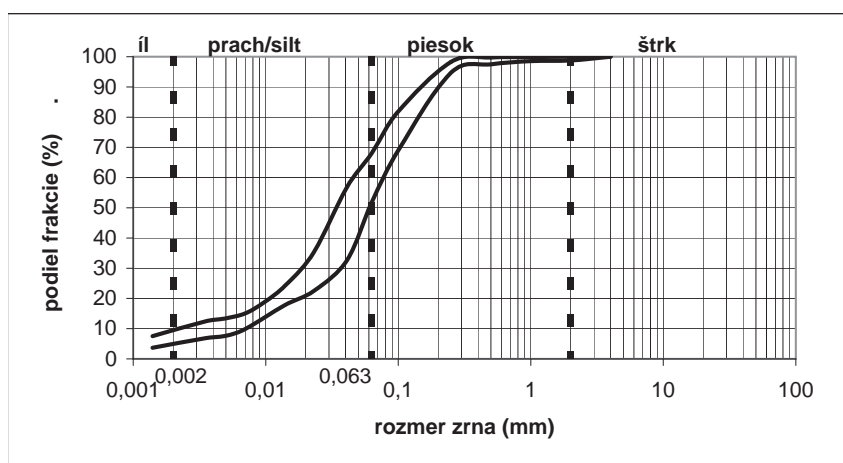
Doteraz publikované skúsenosti so zanášaním vodných nádrží vyvolávali obavy, že sedimenty môžu obsahovať vo väčších množstvách škodlivé látky. V dnových sedimentoch nádrže Kľušov na toku Tisovec bol zistený dvojnásobný nárast nutričov fosforu, dusíka a draslíka oproti okolitým pôdam, kde sa aplikovali hnojivá (Kovaliková & Bálintová, 2007). V sedimentoch vodného diela Ružín zas bola zistená prítomnosť ťažkých kovov, z ktorých meď a arzén prekročili limitnú koncentráciu podľa Prílohy 3 Zákona č. 188/2003 Z. z. (Šutriepka, 2003). V nádrži Sigord pod Slanskými vrchmi boli prekročené koncentrácie niklu a arzenu (Brehuv et al., 2007). Sedimenty nádrže Kozmálovce na rieke Hron zachytávajú ťažké kovy takmer z celého Pohronia (Holubová et al., 2002). V sedimentoch vodného diela Zemplínska Šírava sa potvrdilo znečistenie organickými polutantmi, najmä chlórovanými uhľovodíkmi (Sirotiak, 2003).

Na rozdiel od týchto príkladov sú Slnčné jazerá dotované iba podzemnou vodou a priamo zrážkami, nemajú sústredený povr-



Obr. 1. Čistiaca stanica pri Slnčných jazerách, jar 2008. Vpredu odkalovacia nádrž s prepacom, vzadu centrifúga brániaca výhľadu na dočasnú skládku.

Fig. 1. Cleaning station near the Slnčné jazerá Lakes, spring 2008. Sedimentation basin with the overflow object in the front, centrifuge behind, hindering the view to the temporary landfill.



Obr. 2. Obalové krivky zrnitosti.

Fig. 2. Envelope grain-size curves.

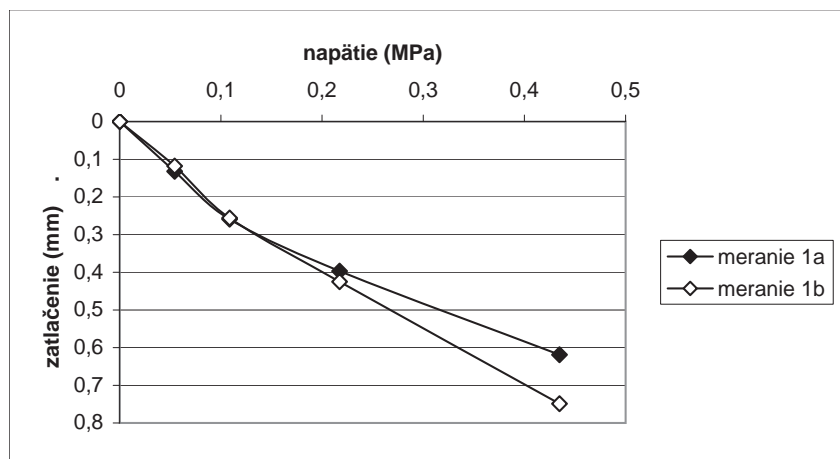
chový prítok, ktorý by prinášal znečistenie z väčšej diaľky. V ich bezprostrednom okolí nie sú väčšie staré, či nové environmentálne záťaže, ani významná poľnohospodárska činnosť. Preto chemické analýzy dnových sedimentov neindikovali prekročenie limitných koncentrácií znečisťujúcich látok (pozri kap. 4.1). Po tomto zistení prichádzalo do úvahy využitie v prvom rade v poľnohospodárstve a lesníctve, prípadne do cestných násypov a nakoniec do minerálnych tesnení skládok odpadu. Vhodnosť sedimentov bola posudzovaná podľa príslušných noriem a legislatívnych predpisov na základe celého radu laboratórnych skúšok.

2. METODIKA

Z piatich miest dočasnej skládky vyťaženého sedimentu bola do plastových vriec odobratá kumulovaná vzorka, ktorá bola v laboratóriu dôkladne premiešaná, aby bolo možné odoberať

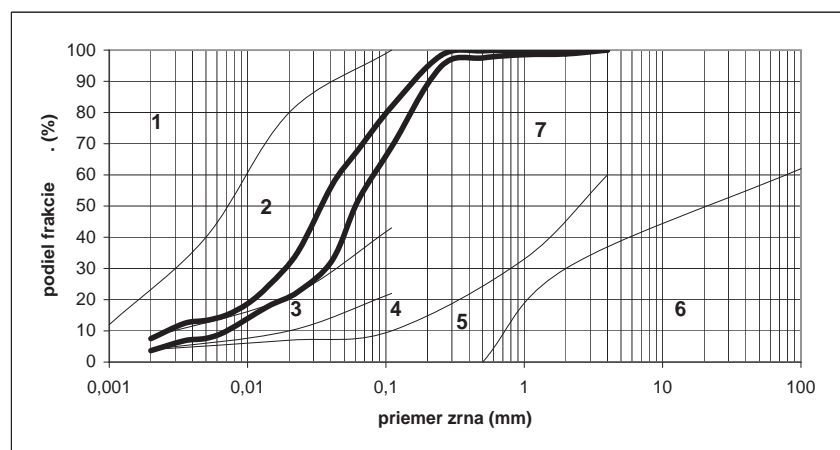
reprezentatívne čiastkové vzorky. Ďalšia úprava vzoriek pred analýzami bola realizovaná podľa požiadaviek príslušných technických noriem.

Mineralogická analýza bola vykonaná pomocou RTG-difraktometra (XRD) Philips X'PERT MPD (Multi Purpose) s nasledujúcimi parametrami: (i) vertikálny goniometer PW 3040; (ii) Cu-K α -LFF keramická žiarivka; (iii) automatická horizontálna divergencia; (iv) prijímacia štrbina 0,3 mm; (v) kontinuálne skenovanie s krokom 0,02°, 40 kV, 40 mA; (vi) doba merania 1s/krok a (vii) program merania X'PERT Data Collector. K určeniu celkového minerálneho zloženia boli pripravené neusmerované práškové preparáty, k stanoveniu ílových minerálov bola vyseparovaná frakcia pod 0,002 mm, z ktorej boli pripravené textúrované preparáty. Tie boli sýtené vymeniteľnými kationmi K a Mg a nakoniec organickými látkami DMSO, etylénglykol a glycerín. Jednotlivé ílové minerály boli identifikované podľa reakcie na tieto látky (expanzia alebo kontrakcia). XRD reflexy boli spracované softvérom Philips a porovnané so zodpovedajú-



Obr. 3. Stlačiteľnosť zhutneného sedimentu (Proctor štandard).

Fig. 3. Compressibility of the Proctor-Standard compacted sediment.



Obr. 4. Posúdenie namŕzavosti zeminy (STN 72 1002, 1995). 1 – veľmi namŕzavá, ale pre nepriepustnosť menej nebezpečná, rozhoduje stupeň konzistencie; 2 – nebezpečne namŕzavá; 3 – namŕzavá, 4 – mierne namŕzavá; 5 – nenamŕzavá; 6 – namŕzavá iba v prípade znečistenia namŕzavými zeminami; 7 – namŕzavá v závislosti od priebehu čiary zrnitosti frakcie < 0,01 mm.

Fig. 4. Assessment of the frost-heave susceptibility (STN 72 1002, 1995). 1 – very susceptible, but for impermeability less dangerous, depends on consistency; 2 – dangerous susceptibility; 3 – susceptible; 4 – slightly susceptible; 5 – not susceptible; 6 – susceptible only if contaminated with susceptible soils; 7 – susceptibility depends on the grain-size curve of the fraction < 0.01 mm.

cim fázovým diagramom z referenčnej databázy International Centre for Diffraction. Bazálne reflexy boli vyhodnotené modifikovaným postupom podľa Schultza (1964) s použitím korekčných faktorov. Obsah karbonátov bol upresnený skúškou vápnomerom prof. Janka podľa STN 72 1022 (1970).

Zrinitosť bola stanovená sedimentačnou hustomernou skúškou Casagrandeho hustomerom s následným preosievaním cez sadu sít. Navážka asi 30 g zeminy bola rozmixovaná v cca 250 ml destilovanej vody s prídavkom 20 ml antikoagulantu (hexametafosforečnan sodný) a dezintegrován ultrazvukom. Po 24 hodinách bola kvantitatívne preliata do odmerného valca a doplnená destilovanou vodou na 1000 ml. Vlastná skúška bola vykonaná zaužívaným postupom (Hyánková et al., 1985) a vyhodnotená počítačovým programom GeoLab.

Vlhkosť w bola stanovená podľa STN 72 1012 (1980), medza tekutosti w_L štvorbodovou Casagrandeho metódou podľa STN 72 1014 (1967), medza plasticity w_p podľa STN 72 1013 (1967). Vypočítaný bol index plasticity $I_p = w_L - w_p$ a číslo konzistencie $I_c = (w_L - w)/I_p$. Optimálna vlhkosť w_{opt} a maximálna obje-

mová hmotnosť ρ_{dmax} ako parametre zhutniteľnosti boli stanovené štandardnou Proctorovou skúškou (PŠ) podľa STN 72 1015 (1988).

Zo zeminy zhutnenej podľa PŠ na maximálnu objemovú hmotnosť suchej zeminy ρ_{dmax} boli vyrezané vzorky s priemerom 50 mm a výškou 20 mm na skúšky stlačiteľnosti a priepustnosti. Skúška stlačiteľnosti bola vykonaná v oedometroch firmy Tecnotest podľa STN 72 1027 (1983) metódou B (so stupňovitým zaťažovaním a meraním časového priebehu zvislej deformácie). Pred skúškou boli vzorky konsolidované zaťažením 54,1 kPa do ustálenia deformácie. Skúška pozostávala z 3 až 4 zaťažovacích stupňov (54,1; 108,2; 216,4 až 432,8 kPa). Z veľkosti zvislého napätia a nameranej zvislej deformácie bol vypočítaný oedometrický modul E_{oed} z neho prepočtom podľa STN 73 1001 (1987) modul deformácie E_{def} .

Priepustnosť bola stanovená dvomi metódami podľa STN 72 1020 (1990). Prvou bola modifikovaná metóda D – stanovenie v priepustometri s premenlivým hydraulickým sklonom pre priepustné zeminy. Metóda je podmienene vhodná pre málo

Tab. 1. Približné minerálne zloženie interpretované z XRD záznamov.

Tab. 1. Approximate mineral composition interpreted from XRD plots.

Celkové minerálne zloženie	(%)	Zloženie ílovitej frakcie < 0,002 mm	(%)
Kremeň	29	Illit / svetlá sľuda	60
Aragonit	22	Chlorit	20
Kalcit	15	Kaolinit	10
Vrstevnaté silikáty	11	Smektit	10
Dolomit	9		
Albit	7		
Alkalické živce	6		
Iné	1		

priepustné zeminy. Modifikácia spočívala v použití jednoduchého prídavného zariadenia (byrety) ku skúšobnej komore oedometra, dodávaného firmou Tecnotest. Vzorka bola sýtená destilovanou vodou zospodu cez filtračnú platničku. Skúška bola vykonaná simultánne na dvoch oedometroch, výsledok bol priemerovaný. Druhou použitou metódou bola metóda G – stanovenie triaxiálnym prístrojom. Túto skúšku vykonal Mgr. I. Dananaj, PhD. v laboratóriu Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra v Bratislave na prístroji GDS, na úplne nasýtených a konsolidovaných vzorkách. Komorový tlak bol minimálne o 20 kPa vyšší ako sýtiaci tlak. Meralo sa trikrát pri konštantnom hydraulickom sklone ($i = 78, 39$ a 19). Do tretice bol koeficient filtrácie k určený aj výpočtom podľa Jesenáka (1985) z koeficienta konsolidácie stanoveného na dvoch nasýtených vzorkách v oedometroch podľa STN 72 1027 (1983) z časového priebehu konsolidácie pri stupňovitom zaťažovaní.

Tab. 2. Vlhkosť a s ňou súvisiace vlastnosti – priemerné hodnoty.

Tab. 2. Moisture and related properties – mean values.

Vlhkosť pri dodaní w (%)	53,30
Medza plasticity w_p (%)	33,99
Medza tekutosti w_L (%)	45,33
Index plasticity I_p (%)	11,34
Číslo konzistencie I_c	-0,70
Konzistencia	tekutá
Plasticita	stredná

Boli vykonané aj niektoré doplnujúce chemické skúšky. Obsah organického uhlíka C_{org} bol stanovený oxidimetricky mokrou cestou, oxidáciou roztokom $K_2Cr_2O_7$ v prostredí H_2SO_4 a titráciou roztokom Mohrovej soli. Zo stanoveného obsahu C_{org} bol vypočítaný obsah humusu násobením koeficientom 1,724 (Klika et al., 1954). Katiónová výmenná kapacita (KVK) bola stanovená kolorimetricky na základe sorpcie organického komplexu Cu^{2+} (Kahr & Madsen, 1995). Na Geologickom ústave Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave stanovila doc. RNDr. J. Kubová, CSc. aktívnu pôdnu reakciu pH_{H_2O} a výmennú pôdnu reakciu pH_{KCl} .

3. VÝSLEDKY

Mineralogická XRD analýza prekvapila vysokým obsahom karbonátov a nízkym obsahom vrstevnatých silikátov (Tab. 1). Skúška vápnomerom ukázala prakticky rovnakú sumárnu hodnotu karbonátov (45%). Kalcit môže byť eolického pôvodu, vyviaty zo spraší Trnavskej tabule (Šajgalík & Modlitba, 1983), aragonit zase produktom chemických reakcií v jazere (Vozárová, 2000). Karbonáty sú príčinou mierne zásaditej pôdnej reakcie: $pH_{H_2O} = 7,62$ a $pH_{KCl} = 7,74$. Ílových minerálov je málo a dominuje illit. Z organického uhlíka $C_{org} = 1,47\%$ bol vypočítaný obsah humusu iba 2,5%.

Nízky obsah ílových minerálov je dôvodom nízkej KVK = 0,05 mmol.g⁻¹. Je pochopiteľný pri pohľade na obalové krivky zrnitosti, kde je nečakane nízky obsah ílovitej frakcie, iba 6% až 10% (Obr. 2). Smektit v nej tvorí 10%, teda v celej zemine dosahuje sotva 1%. Obsah jemnej frakcie < 0,063 mm je okolo 50% až 70%, takže zemina patrí k jemnozrnným, s prevahou prachovitej (v zmysle STN 72 1001, 2010), resp. siltovitej frakcie (v zmysle STN EN ISO 14 688–1, 2004).

Tab. 3. Fyzikálne vlastnosti vzoriek zhutnených štandardne podľa Proctora.

Tab. 3. Physical properties of Proctor-Standard compacted samples.

Optimálna vlhkosť pre hutnenie w_{opt} (%)		28,0
Maximálna objemová hmotnosť ρ_{dmax} (g.cm ⁻³)		1,341
Oedometrický modul E_{oed} (MPa)	Modul deformácie E_{def} (MPa)	pri napätí (kPa)
8,2	3,9–5,0	54–108
14,1	6,6–8,7	108–216
16,1	7,6–10,0	216–433
Koeficient filtrácie k (m.s⁻¹)		
a) z triaxiálnej skúšky (hydraulický gradient 78 až 19)		2,3.10 ⁻⁹ –3,0.10 ⁻⁹
b) z priepustomeru s premenlivým spádom		4,2.10 ⁻⁸
c) výpočtom z koeficienta konsolidácie nasýtenej zeminy		9,4.10 ⁻⁹

Vlhkostné charakteristiky sú zhrnuté v tab. 2. Podľa inžiniersko-geologickej klasifikácie zemín v STN 72 1001 (2010) boli dnové sedimenty zo Seneckých jazier zaradené do triedy F3, hlina piesčitá (symbol MS) a triedy F5, hlina so strednou plasticitou (symbol MI). Podľa STN EN ISO 14 688–2 (2005) to zodpovedá siltu piesčitému saSi a siltu piesčito-ílovitému saLSi. Parametre zhutniteľnosti, ako aj deformáčne parametre a koeficient filtrácie zhutnených vzoriek sú v tab. 3. Na prepočet priemerných oedometrických modulov E_{oed} na moduly deformácie E_{def} bol použitý smerný normový súčiniteľ bočnej deformácie $\beta = 0,47$ pre skupinu MI a $\beta = 0,62$ pre skupinu MS podľa STN 73 1001 (1987). Stlačiteľnosť (deformácia) ako funkcia použitého tlaku je znázornená na obr. 3. Skúška priepustnosti v triaxiálnej komore napriek značným rozdielom použitého hydraulického spádu priniesla veľmi stabilný koeficient filtrácie k , avšak v porovnaní s ostatnými metódami najnižší. Pri tejto metóde sa často používajú príliš vysoké tlaky, stlačením vzorky komorovým tlakom dochádza k zmenšeniu efektívnej pórovitosti a k sekundárnemu zníženiu priepustnosti (Adamcová et al., 2005). Reálne treba počítať s koeficientom filtrácie k okolo 1.10⁻⁸ m.s⁻¹.

4. MOŽNOSŤ VYUŽITIA DNOVÝCH SEDIMENTOV – DISKUSIA

4.1. Aplikácia do pôdy

V minulosti sa stávalo, že sa na Seneckých jazierách premnožili labute a spôsobili biologické znečistenie vody. Preto sa očakával zvýšený obsah organických látok v dnových sedimentoch a možnosť aplikácie do pôdy sa posudzovala ako prvá. O aplikácii čistiarenských kalov a dnových sedimentov do poľnohospodárskej alebo lesnej pôdy pojednáva Zákon č. 188/2003 Z. z.,

ktorý uvádza medzné hodnoty vybraných rizikových látok. Ich prehľad je v tab. 4, včítane výsledkov chemických analýz študovaných dnových sedimentov (Weissová, 2006), ktoré poskytol primátor mesta Senec K. Kvál. Ako vidno z tab. 4, ani u jednej rizikovej látky nebola prekročená medzná hodnota, zemina je čistá, nezávadná. Chemická analýza obsahovala aj ďalšie látky nelimitované Zákonom č. 188/2003 Z. z. (Tab. 5). V zmysle Rozhodnutia MP SR č. 531/1994-540 o najvyšších prípustných hodnotách škodlivých látok v pôde, táto zemina obsahuje rizikové látky len v povolených množstvách alebo vôbec nie. Obsah organických látok 2,5% je však nízky (klasifikácia podľa STN EN ISO 14688-2, 2005). Minimum podľa Zákona č. 188/2003 Z. z. je 18% humusu, preto sa nesmie aplikovať do poľnohospodárskych a lesných pôd. Na bežné zúrodnenie pôdy teda nie je vhodná, ale dala by sa použiť na úpravu (neutralizáciu) kyslých pôd, ktoré sú dostatočne bohaté na organické živiny. Za úvahu by tiež určite stála výroba komerčnej črepníkovej zeminy pre izbové a balkónové okrasné rastliny miešaním s rašelinou alebo kompostom, napr. v záhradníckych prevádzkach. Práve vďaka tekutej konzistencii sedimentov by bolo možné miešanie v bežných malých stavbárskych miešačkách. Prídavok rašeliny či kompostu nielen dodá zemine chýbajúce živiny, ale aj výrazne zvýši priepustnosť a skrátí dobu potrebnú na následné presušenie zmesi na medziskládke. Vysoký obsah karbonátov môže pritom vhodne neutralizovať kyslú reakciu rašeliny.

4.2. Použitie do cestných násypov

Vhodnosť zeminy do cestných násypov bola posudzovaná najprv podľa STN 72 1002 (1995), ktorá radí študovanú zeminu podľa zrnitostného zloženia vyjadreného obalovými krivkami

Tab. 4. Porovnanie nameraných a medzných hodnôt rizikových látok podľa Zákona č. 188/2003 Z. z.

Tab. 4. Comparison of measured values with limits for hazardous substances given by the law (Zákon č. 188/2003 Z. z.).

Riziková látka	Medzná hodnota koncentrácie (mg.kg ⁻¹)	Nameraná hodnota koncentrácie (mg.kg ⁻¹) (Weissová, 2006)
Arzén	20	0,015
Kadmium	10	< 0,003
Chróom	1000	< 0,2
Meď	1000	< 0,2
Ortuť	10	< 0,001
Nikel	300	< 0,05
Olovo	750	< 0,01
Zinok	2500	0,16
Polychlórované bifenyly – suma	6	< 0,01
Polycyklické aromatické uhľovodíky	0,8	0,5

Tab. 5. Koncentrácia látok nelimitovaných Zákonom č. 188/2003 Z. z. a porovnanie s referenčnými hodnotami podľa Rozhodnutia MP SR č. 531/1994-540.

Tab. 5. Concentration of substances unlimited by the law (Zákon č. 188/2003 Z. z.) and comparison with reference values according to Rozhodnutie MP SR č. 531/1994-540.

Ukazovateľ	Referenčná hodnota A (požadová)	Nameraná hodnota koncentrácie (mg.kg ⁻¹) (Weissová, 2006)
Antimón	-	< 0,01
Bárium	500	0,47
Molybdén	1	< 0,3
Selén	0,8	< 0,01
Chloridy	-	140
Fluoridy	-	1,1
Sírany	-	953
Fenolový index	-	0,6
Rozpustený organický uhlík	-	76,7
Obsah rozpustných solí	-	3900
Uhľovodíky spolu	-	< 100

Tab. 6. Posúdenie vhodnosti zeminy do telesa zemnej komunikácie podľa STN 73 6133.

Tab. 6. Suitability assessment of the soil for road embankments and subgrades according to STN 73 6133.

Kritérium	normový limit		zistený stav	
	nehodná	podmienečne vhodná		
medza tekutosti w_L (%)	≥ 60	< 60	45,33	podmienečne vhodná
index plasticity I_p (%)	≥ 27	< 27	11,34	podmienečne vhodná
organické látky (%)	≥ 6	< 6	2,5	podmienečne vhodná
maximálna objemová hmotnosť zeminy zhutnenej na PŠ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	$\leq 1,500$	$> 1,500$	1,341	nehodná
stupeň konzistencie I_c	$< 0,05$	0,05-0,5	- 0,7	nehodná

do triedy F3 (symbol MS_1) a triedy F5 (symbol MI), v skutočnosti sa však jedná o rôzne prechody medzi týmito krajnými členmi. Zemina triedy F5 (MI) je do násypov málo vhodná až nevhodná, prevažná časť zeminy sa skladá z prachovitej frakcie, preto je nebezpečne namrzavá, pri nasýtení vodou nestabilná a veľmi rozbíedavá. Vysokú namrzavosť študovanej zeminy potvrdzuje aj posúdenie podľa tzv. Scheibleho kritéria (Obr. 4). Zeminy triedy F3 (MS_1) sú v zmysle tejto normy vo všeobecnosti vhodné do násypov; dajú sa dobre zhutňovať, vyššej únosnosti však bráni celkovo jemnozrnný charakter, sú mierne namrzavé, preto treba vykonať preventívne opatrenia.

Podobne vychádza aj posúdenie podľa STN 73 6133 (1996). Skupina F5 (MI) je vo všeobecnosti podmienečne vhodná pre cestné stavby, norma upozorňuje opäť len na jej namrzavosť, nestálosť a nízku pevnosť. Zemina zaradená podľa zrnitosti do skupiny F3 (MS_1) by mala byť vhodná.

Skutočnosť je však iná, ak sa zoberú do úvahy ďalšie fyzikálne vlastnosti študovaných sedimentov. Z tab. 6 je jasné, že zemina má nevhodnú konzistenciu, teda príliš vysokú vlhkosť (čerstvo vyťažený dnový sediment). Tekutá konzistencia znemožňuje budovanie násypov, zemina sa rozteká. Vzhľadom na relatívne nízky koeficient filtrácie a veľký objem vyťaženého materiálu by si presušenie zeminy medziskládkou na drenážnom podloží vyžadovalo dlhý čas a sušenie v tenkej vrstve na veľkej ploche. To je nereálne, ale aj zbytočné, lebo ani v ideálnom prípade dosiahnutia w_{opt} nie je možné zeminu dostatočne zhutniť. Objemová hmotnosť ρ_{dmax} stanovená skúškou PŠ je hlboko pod limitom pre podmienečne vhodnú zeminu.

Hoci norma STN 72 1002 (1995) pripúšťa zlepšovanie vlastností zeminy na použitie v cestnom staviteľstve, tekutá konzistencia vylučuje vystuženie násypu geotextíliami alebo inou výstužou, či zabudovanie zeminy do vrstveného násypu sendvičového typu. Čisto teoreticky by mohlo pomôcť prídanie hrubšej frakcie, či skôr tejto zeminy v malých množstvách

k hrubšej zemine, tým by však neúmerne narástol objem spracovávaného materiálu. Paradoxne, tekutá konzistencia by v takomto prípade bola zrejme výhodou, lebo umožňuje ľahšie a lepšie premiešanie zmesi ako mäkká až tuhá konzistencia. V porovnaní s pôvodným kalom by sa takouto úpravou vlhkosť znížila, a to primárne pri zmiešaní so suchou hrubšou frakciou (rozptýlenie vody vo väčšom objeme zeminy) a sekundárne zvýšením priepustnosti a urýchlením odtoku a výparu, takže zmes by sa dala dosušiť na medziskládke. Každá úprava však zvyšuje náklady a je nutné zväziť nielen náročnosť praktickej realizácie (potreba rovnomerného premiešania veľmi veľkého objemu nehomogénneho materiálu), ale aj efektívnosť. Do nákladov treba započítať transport, manipuláciu, energiu, prípadne medziskládku, overenie splnenia podmienok STN 73 6133 (1996) oprávnenou inštitúciou a pod. Vzhľadom na uvedené nemožno takúto úpravu zeminy odporučiť, zemina definitívne nie je vhodná do cestných násypov a nie je možné efektívne ju zlepšiť.

4.3. Využitie pri likvidácii odpadu

Možnosť využitia do minerálneho tesnenia skládky odpadu bola posúdená podľa STN 83 8106 (2004) a STN 83 8101 (2004). Ako vidieť z tab. 7, problematická je opäť najmä príliš vysoká vlhkosť (zemina sa rozteká), ale aj príliš nízky obsah ílovitej frakcie a kritický je veľmi vysoký obsah karbonátov. Hoci sú na jednej strane zárukou výbornej retardácie ťažkých kovov, ktoré pri zistenom pH okolo 7 vypadávajú z roztokov, v prípade interakcie s kyslým skládkovým výluhom by sa časom rozpuštili a ich odnos by zrejme spôsobil nárast priepustnosti a remobilizáciu ťažkých kovov, prípadne iných stopových prvkov (Lu et al., 1985). Aj preto by ani suchšia zemina nebola vhodná na tesnenie skládky iného ako inertného odpadu. Iné sorbenty (ílové minerály a organické látky) obsahuje iba v zanedbateľnom množstve, čo je dôvodom nízkej KVK , iba $0,05 \text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$, preto nie je per-

Tab. 7. Porovnanie vlastností sedimentov s požiadavkami noriem na minerálne tesnenia skládok.

Tab. 7. Comparison of sediment properties with criteria of technical standards for mineral liners of landfills.

STN EN 83 8106 (2004)			
Ukazovateľ	Normová požiadavka	Stav zistený v skúmanej zemine	
geologická charakteristika	kvartérne alebo treťohorné jemnozrnné sedimenty	kvartérna jemnozrnná zemina	vyhovuje
triedy zemín podľa STN 72 1001 (1987) vhodné na zabudovanie samostatne alebo v zmesi	CL, CI, CH, ML, MI, SM, SC	MS až MI	čistočne vyhovuje
detto podľa STN EN 14688–2 (2005)	Cl, Si, Msi, Fsi, prípadne fsaCl, Fsi/Cl a iné	saSi, saclSi	nevyhovuje
obsah jemnozrnných častíc pod 0,06 mm (%)	≥ 30	50 až 70	vyhovuje
obsah zŕn nad 2mm (%)	≤ 30	< 1%	vyhovuje
index plasticity I_p (%)	<10; 40)	11,34	vyhovuje
obsah organických látok (%)	≤ 5	2,5	vyhovuje
vlhkosť (%)	0,98. w_{opt} až 1,05. w_{opt} t.j. 27,4–29,4 pri $w_{opt} = 28$	53,3	nevyhovuje
interakcia so skládkovým výluhom	odolnosť proti vplyvu kvapalín, ich priesaku a erózii	33% karbonátov – rozpustné v kyslých skládkových výluhoch	nevyhovuje
objemové zmeny pri zmene vlhkosti	objemová stálosť	extrémne nízky obsah napúčavých ílových minerálov aj humusu - stála	vyhovuje
plastická deformácia pri nerovnomernom sadaní skládky	plastická	jemnozrnná zemina, plastická deformácia	vyhovuje
STN EN 83 8101 (2004)			
koeficient filtrácie k ($m \cdot s^{-1}$)	na odpad nebezpečný: ≤ $1,0 \cdot 10^{-10}$ na odpad nie nebezpečný: ≤ $1,0 \cdot 10^{-9}$ na odpad inertný: ≤ $1,0 \cdot 10^{-7}$	cca $1 \cdot 10^{-8}$	vyhovuje na inertný odpad

spektívnou bariérou proti šíreniu znečistenia difúziou. A hoci zhutnená na PŠ by bola dostatočne nepriepustná na minerálne tesnenie skládky inertného odpadu, ani táto aplikácia nie je z dôvodu vysokej vlhkosti realizovateľná. Prírodná vlhkosť w_n je oveľa vyššia ako skúškou zistená optimálna vlhkosť w_{opt} potrebná pre maximálne zhutnenie a ako bolo vysvetlené vyššie, umelé sušenie neprichádza do úvahy.

Teoreticky sme ešte zvažovali možnosť využitia vysokého obsahu karbonátov v zemine na čistenie odpadových bankských vôd z neďalekých antimonitových baní pri Pezinku. Pre prefiltrovanie je koeficient filtrácie zeminy príliš nízky, preto by sa musela zemina miešať s bankovou vodou a precipitáty aj so zeminou oddeľovať od očistenej vody v odkalovacích nádržkách (zrnitosť zeminy indikuje relatívne rýchlu sedimentáciu). Sediment vyťažený z nádrží by skončil na skládke ako nebezpečný odpad, preto by boli náklady na jeho likvidáciu ešte vyššie ako pri skládkovaní pôvodnej zeminy. Účinnosť a efektívnosť takéhoto čistenia bankských vôd by musela byť overená technologickými skúškami, čo si žiada čas, preto nedáva perspektívu rýchlej a racionálnej likvidácie dočasnej skládky.

5. ZÁVER

Výsledkom čistenia dna Slnečných jazier v Senci v rokoch 2006 až 2008 s cieľom ich revitalizácie bola dočasná skládka vyťažených sedimentov. Podľa STN 72 1001 (1987) patria do triedy F3 – hlina piesčitá (MS), a triedy F5 – hlina so strednou plasticitou (MI). Podľa STN EN ISO 14 688-2 (2005) je to silt piesčité (saSi), až silt piesčito-ílovitý (saciSi). Chemické analýzy potvrdili nezávadnosť zeminy, obsahy rizikových látok neprekračujú limitné hodnoty podľa Zákona č. 188/2003 Z. z., ani limitné hodnoty A podľa Rozhodnutia MP SR č. 531/1994-540, nízke sú aj hodnoty legislatívne nelimitovaných látok. Napriek tomu je takmer nemožné nájsť využitie pre tento materiál bez jeho ďalších úprav. Aplikácii do poľnohospodárskych a lesných pôd bráni príliš nízky obsah organických látok. Na geotechnické aplikácie – do cestných násypov a minerálnych tesnení skládok odpadu – je zemina nevhodná pre príliš vysokú vlhkosť. Ostatné problémy, ako namrzavosť, vyšší koeficient filtrácie, nízky obsah ílovej frakcie a ílových minerálov, teda nízka sorpčná schopnosť, či vysoký obsah karbonátov sa tak stávajú bezpredmetnými, lebo zeminu nie je možné efektívne vysušiť do takej miery, aby sa dala hutniť. Obsiahnuté karbonáty by sa však možno dali využiť pri čistení bankských vôd z neďalekých antimonitových baní pri Pezinku. Ale hoci karbonáty imobilizujú mnohé ťažké kovy/stopové prvky, nie všetky takto vzniknuté fázy sú dostatočne stabilné a bezpečné z dlhodobého hľadiska.

Každá úprava, ktorá by zlepšila vlastnosti zeminy, si vyžaduje ďalšie náklady na transport, manipuláciu a spracovanie, potrebné strojné zariadenie a odskúšanie technológiu. Len vyčíslenie reálnych nákladov môže ukázať, či je úprava rentabilná. Do úvahy však prichádza zrejme iba zvýšenie úrodnosti prípravou zmesi s rašelinou alebo kompostom vo vhodnom pomere – najjednoduchšia úprava, vhodná pre rastlinnú výrobu, najmä pre pestovanie okrasných rastlín, kedy nie je ani prípadný vyšší obsah dusičnanov prekážkou.

Zmenu konzistencie, teda zníženie vlhkosti nevyhnutné v prípade aplikácie do cestných násypov i do povrchových tesnení skládok odpadu, nie je možné doceliť medziskládkou na drénujúcom podloží, lebo sediment je málo priepustný. Iné metódy sušenia spolu s nevyhnutnou manipuláciou a transportom sú príliš drahé.

Analýza teda ukázala, že využiteľnosť takejto zeminy môže byť veľmi obmedzená až nemožná aj napriek tomu, že nie je toxická, ani znečistená.

Podakovanie: Úloha bola čiastočne finančne podporená z projektu VEGA 1/0413/09.

Použitá literatúra

- Adamcová R., Ottner F., Durn G., Greifeneder S., Dananaj I., Dubíková M., Skalský R., Miko S. & Kapelj S., 2005: Problems of hydraulic conductivity estimation in clayey karst soils. *Geologia Croatica*, 58, 2, 195–203.
- Bezák V., Biely A., Broska I., Bóna J., Buček S., Elečko M., Filo I., Fordinál K., Gazdačko L., Grecula P., Hraško L., Ivanička J., Jacko S. st., Jacko S. ml., Janočko J., Kaličiak M., Kobulský J., Kohút M., Konečný V., Kováčik M. (Bratislava), Kováčik M. (Košice), Lexa J., Madarás J., Maglay J., Mello J., Nagy A., Németh Z., Olšovský M., Plašienka D., Polák M., Potfaj M., Pristaš J., Šiman P., Šimon L., Teťák F., Vozárová A., Vozár J. & Žec B., 2009: Vysvetlivky k prehľadnej geologickej mape SR 1:200 000. ŠGÚDŠ, Bratislava, 534 p.
- Brehuv J., Šestinová O., Špaldon T., Slančo P., Bobro M. & Hančulák J., 2007: Vplyv banskej lokality Zlatá baňa na obsah vybraných prvkov v nánosoch malej vodnej nádrže Sigord. In: Hucko P. (Ed.): Zb. z konf. Sedimenty vodných tokov a nádrží. Slovenská vodohospodárska spoločnosť ZSVTS pri VÚVH, Bratislava, 65–71.
- Fedor P., Kožuch M., Oberhauserová H., Buček J. & Poláková M., 2004: Senec bránou do tretieho milénia. Reklamná agentúra Siex, Senec, 323 p.
- Holubová A., Szolgay J., Mišík M. & Lisický M., 2002: Výskum odtokového režimu a hydrodynamiky prúdenia extrémnych prietokov na rieke Hron vo vzťahu k protipovodňovej ochrane územia. Záverečná správa. Manuskript. VÚVH, Bratislava, 60 p.
- <http://enviroportal.sk/clanok.php?cl=11137>; Čistenie Seneckých jazier, zdroj Detox, videné 5.4.2009
- Hyánková A., Modlitba I. & Letko V., 1985: Laboratórny výskum vlastností hornín. Vydavateľstvo UK, Bratislava, 248 p.
- Jesenák J., 1985: Mechanika zemín. SVŠT, Bratislava, 123 p.
- Kahr G. & Madsen F.T., 1995: Determination of the cation exchange capacity and the surface area of bentonite, illite and kaolinite by methylene blue adsorption. *Applied Clay Science*, 9, 5, 327–336.
- Klika J., Novák V. & Gregor A., 1954: Praktikum fytoecologie, ekologie, klimatologie a půdoznalectví. ČSAV, Praha, 762 p.
- Kovaliková N. & Bálintová M., 2007: Kvalita sedimentov v malej vodnej nádrži Kľušov. In: Hucko P. (Ed.): Zb. z konf. Sedimenty vodných tokov a nádrží. Slovenská vodohospodárska spoločnosť ZSVTS pri VÚVH, Bratislava, 220–226.
- Lu J.C.S., Eichenberger B. & Stearns R.J., 1985: Leachate from municipal landfills. Production and Management. *Pollution Technology Review*, 119, Noyes Publications, New Jersey, 453 p.
- Rozhodnutie Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky o najvyšších hodnotách škodlivých látok v pôde č. 531/1994-540.
- Schultz L.G., 1964: Quantitative interpretation of mineralogical composition

- from X-ray and chemical data for the Pierre Shale. U. S. Geological Survey Professional Paper 391-C. Washington: US Govern. Printing Office, 31 p.
- Sirotiak M., 2003: Organické polutanty v dnových sedimentoch VD Zemplínska Šírava. In: Ďurža O. & Rapant S. (Eds.): Geochémia, zborník referátov. Vydavateľstvo GÚDŠ, Bratislava, 92–94.
- STN 72 1001, 2010: Klasifikácia zemín a skalných hornín.
- STN 72 1002, 1995: Klasifikácia zemín pre dopravné stavby.
- STN 72 1012, 1980: Laboratórne stanovenie vlhkosti zemín.
- STN 72 1013, 1967: Laboratórne stanovenie medze plasticity zemín.
- STN 72 1014, 1967: Laboratórne stanovenie medze tekutosti zemín.
- STN 72 1015, 1988: Laboratórne stanovenie zhutiteľnosti zemín.
- STN 72 1020, 1990: Laboratórne stanovenie priepustnosti zemín.
- STN 72 1022, 1970: Laboratórne stanovenie uhličitánov v zeminách.
- STN 72 1027, 1983: Laboratórne stanovenie stlačiteľnosti zemín v oedometri.
- STN 73 1001, 1987: Zakladanie stavieb. Základová pôda pod plošnými základmi.
- STN 73 6133, 1996: Stavba ciest. Teleso pozemných komunikácií.
- STN 83 8101, 2004: Skládkovanie odpadov. Všeobecné ustanovenia.
- STN 83 8106, 2004: Skládkovanie odpadov. Tesnenie skládok odpadov. Navrhovanie, zhotovovanie, kontrola a technické požiadavky.
- STN EN ISO 14 688-1, 2004: Geotechnický prieskum a skúšky. Pomenovanie a klasifikácia zemín. Časť 1: Pomenovanie a opis.
- STN EN ISO 14 688-2, 2005: Geotechnický prieskum a skúšky. Pomenovanie a klasifikácia zemín. Časť 2: Princípy klasifikácie.
- Šajgalík J. & Modlitba I., 1983: Spráše Podunajskej nížiny a ich vlastnosti. Veda, vydavateľstvo SAV, Bratislava, 204 p.
- Šutriečka M., 2003: Ťažké kovy v dnových sedimentoch vodného diela Ružín. In: Ďurža O. & Rapant S. (Eds.): Geochémia, zborník referátov. Vydavateľstvo Dionýza Štúra, Bratislava, 90–91.
- Vozárová A., 2000: Petrografia sedimentárnych hornín. Vydavateľstvo Univerzity Komenského, Bratislava, 173 p.
- Weissová K., 2006: Protokol o skúške č. 44080. Belnovamann International, s. r. o., Bratislava, 4 p.
- Zákon č. 188/2003 Z. z. o aplikácii čistiarenského kalu a dnových sedimentov do pôdy.

Summary: During cleaning of the bottom of the Slnecné jazerá Lakes (former exploitation of Pleistocene Danube River sandy gravels, now a popular recreation centre in the town of Senec) recent fine-grained bottom sediments were separated by a centrifuge and two sedimentation basins, and later deposited in a temporary landfill. Their genesis in the lakes was influenced by anthropogeneous, biological and aeolian (loess particles) contribution. A useful application of this waste material was searched for in order to minimize the landfilled volume. Collected from 5 sampling points, an average sample was mixed together in order to test the properties of the sediments. Moisture (water content) w was determined from the mass lost by drying at 105 °C (Tab. 2). Mineralogical analyses covered the quantitative X-ray diffraction analysis (Tab. 1) and carbonate analysis (reaction with diluted HCl). Earlier chemical analyses tested the content of hazardous substances (Tab. 4 and 5, provided by the major of the town of Senec), now the content of organic matter, soil reaction (pHH_2O and $pHKCl$) and the cation exchange capacity (CEC) were determined. Engineering geological classification required grain size analyses (sedimentation method using Casagrande aerometer followed by wet sieving, envelope grain-size curves are in Fig. 1) and standard tests on Atterberg consistency limits (liquid limit w_L and plasticity limit w_{pi} ; Tab. 2). Sediments were classified as sandy silt (F3 MS) and silt of

intermediate plasticity (F5 MI) (STN 72 1001, 2010), or saSi and saclSi in the European geotechnical classification system (STN EN ISO 14 688-2, 2005). As the sediments proved to be harmless, next tests aimed at the compactibility (Proctor Standard test on optimum moisture w_{opt} and maximum dry density ρ_{dmax}) and the physical properties of the compacted samples – deformation modulus E_{def} (consolidometer tests) and hydraulic conductivity k . The last was tested by three methods (Tab. 3): in a triaxial chamber with a constant hydraulic gradient, in a permeameter with a variable hydraulic gradient, as well as calculated from the consolidation curve of a saturated sample in the consolidometer.

According to the Slovak law, measured 2.5% content of organic matter C_{org} is too low for a simple application into an agricultural or forest soil (minimum is 18%). However, the high content of carbonates (45%) and the alkaline soil reaction could be used for the control of the soil reaction of acid soils with high content of organic matter.

Requirements of Slovak technical standards for soils in road constructions are summarized in Tab. 6. Our sediments are not suitable because of extremely high moisture, i.e. liquid consistency, it is impossible to compact them. From this point of view, the revealed susceptibility to frost heave (Fig. 4) is no more important.

The liquid consistency disqualifies them also for the construction of a mineral liner of a waste landfill. Thus, the high content of soluble carbonates, low content of the clay fraction (< 10%), and swelling clay minerals ($\approx 1\%$), low CEC (0.05 mmol.g⁻¹) indicating low sorption capacity, together with insufficient sealing effect (hydraulic conductivity 1.10^{-8} m.s⁻¹) are less significant problems. On the other hand, the high content of carbonates might be useful for the cleaning and neutralisation of the mine water coming from old stibnite mines near the town Pezinok, about 15 km north of Senec. This idea requires further applied research.

Only one kind of improvement might bring a practical application: addition of peat or compost would improve the soil fertility. This simple treatment is suitable especially for flowers and other decorative plants. Efficiency and profitability of proposed improvement method was not checked, but must be considered. Unfortunately, consistency change, i.e. moisture reduction (necessary both for road embankments and landfill liners) cannot be reached by temporary landfilling on a filtering sub-grade. Therefore, usability of such geomaterial is limited to questionable.