

## Sledovanie pevnostných charakteristík cementových stabilizácií z bankských haldových materiálov

Ján Mandula<sup>1</sup>

### Investigation of strength characteristics of cement stabilized courses made from mine refuse materials

The paper deals with investigation and analysis of strength characteristics development of cement stabilized courses made from mine refuse materials from Rudnany. Cement stabilized courses made from the material from the dump Patoraka (graphite) - Rudnany B and the dump Zimna (diabases) - Rudnany C underwent a long-term investigation by destructive and non-destructive methods. Long-term investigation were carried out on testing beams (10x10x40) cm<sup>3</sup> in laboratory conditions. From the reported results follows that the investigated materials are suitable for the pavement foundation of roads. It is also obvious that for the investigated cement stabilized courses, for which the mixture composition is known and which were treated in the same way, it is possible to determine working characteristics with required accuracy and as a consequence to predict the development of strength characteristics of these mine refuse materials. When the cement stabilized courses are built in the pavement foundation of roads and highways, the asphalt layer are laid upon them after some time and the roads are opened to traffic. This raises the question about the way in which the strength increasing in time influences the service life of roads and whether this process results in the formation of shrinking cracks in the cement stabilized courses which are copied in the wearing course. At the implementation of cement stabilized course in the pavement foundation of a road it is therefore necessary to include in the technological process of road construction also treatment of these courses until the asphalt layers are laid upon them.

**Key words:** mine refuse materials, cement stabilized courses, pavement, strength characteristics

### Úvod

Jedným z cieľov dopravnej politiky SR je výstavba diaľnic a modernizácia železničných dráh. Táto je často podmienená finančnými zdrojmi, projektovou pripravenosťou, legislatívnymi prácami a stavebnými kapacitami. Menej sa hovorí o nárokoch na množstvo stavebných materiálov potrebných na výstavbu takýchto líniových stavieb. Doteraz vybudovaná minimálna dĺžka diaľnice vo východoslovenskom regióne a skutočnosť, že s modernizáciou železničných tratí sa ešte ani nezačalo, naznačuje nároky na stavebné materiály do budúcnosti. Tieto budú musieť byť pokryté prevažne z miestnych zdrojov. Predpokladajúc tento vývoj, sa Katedra geotechniky a dopravného staviteľstva v rámci riešenia výskumných úloh (Ďurica, 1992) dlhodobo zaoberá vytypovaním možných zdrojov týchto materiálov pozdĺž pripravovaných líniových trás, a to na báze priemyselných odpadov a bankských haldových materiálov (Mandula, 1997, 1995). Medzi vytypované lokality boli zaradené aj bankské haldové materiály závodu Rudňany:

1. halda Pätoraká (grafity) – Rudňany B,
2. halda Zimná (diabázy) – Rudňany C.

Tab.1 Fyzikálne vlastnosti skúmaných bankských haldových materiálov

[1]

Tab.1 Physical characteristics of investigated damp mining materials [1]

Vlastnosti sledovaných materiálov	Lokalita			
	Rudňany B		Rudňany C	
	Frakcia [mm]			
	4 – 8	8 – 16	4 – 8	8 – 16
Podiel zrn s $TI \geq 3 - b_{13}$ [%]	30,0	27,0	31,0	30,0
Otlkovosť $K_0$ [%]	-	31,9	-	30,2
Mrazuvzdornosť po 25 cykloch $Q_{m,25}$ [%]	1,4	1,9	1,2	1,4
Trvanlivosť po 5 cykloch v $Na_2SO_4$ $Q_{t,5}$ [%]	4,0	4,3	3,4	3,0
Nasiakavosť po 48 hod. vo vode NV [%]	0,5	0,3	0,4	0,3
Trieda hrubého kameniva podľa STN 72 1512	A	B	B	C

<sup>1</sup> Ing. Ján Mandula, CSc., Technická univerzita v Košiciach, Stavebná fakulta, Katedra geotechniky a dopravného staviteľstva, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, tel.: 00421 - 55 - 602 4193, E-mail:jan.mandula@tuke.sk  
(Recenzované, revidovaná verzia dodaná do 20.1.2002)

Prezentovaný článok sa zaoberá dlhodobým sledovaním a analýzou vývoja pevnostných charakteristík cementových stabilizácií vyrobených z týchto bankských haldových materiálov. Cementové stabilizácie Rudňany B a Rudňany C boli dlhodobo skúšané v laboratórnych podmienkach pomocou deštrukčnej a nedeštrukčnej metódy. Dlhodobé sledovanie pevnosti v tlaku bežne používanou deštrukčnou skúškou by si totiž vyžiadalo vyhotoviť veľký počet skúšobných valčekov. Preto, aby množstvo skúšobných vzoriek nenarastalo, na dlhodobé sledovanie cementovej stabilizácie bola použitá nedeštrukčná rezonančná metóda. Táto kombinovaná metóda si vyžiadala použitie netradičných skúšobných telies (10x10x40) cm<sup>3</sup>. Na zhotovených vzorkách „Rudňany“ boli podľa STN 73 1372 sledované rezonančnou metódou pružnostné a väzkoplastické charakteristiky v závislosti na dobe tvrdnutia. Rezonančné frekvencie vzoriek boli zisťované rezonančným prístrojom RP-5. Výsledky dlhodobých meraní touto metódou (prvého vlastného kmitočtu pozdĺžneho kmitania  $f_1$ ) boli už čiastočne publikované (Mandula, 1997). Základné fyzikálne vlastnosti sledovaných bankských haldových materiálov (Ďurica, 1992) sú uvedené v tabuľke 1.

### Zatriedenie sledovaných cementových stabilizácií

Základným pevnostným kritériom pre zatriedenie cementovej stabilizácie je podľa STN 73 6125 požadovaná pevnosť v tlaku  $R_T$  a odolnosť proti mrazu. Pevnosť v tlaku bola zisťovaná pre počet požadovaných dní vždy na 3 skúšobných valčekoch zaťažovacou deštrukčnou skúškou. Pre sledované kamenivá boli stanovené skúškou zhutiteľnosti Proctor standard maximálne objemové hmotnosti a optimálne vlhkosti takto:

- $\rho_d = 2485 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $w_{OPT} = 4,4 \%$  pre lokalitu Rudňany B a
- $\rho_d = 2485 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $w_{OPT} = 4,5 \%$  pre lokalitu Rudňany C.

Normové valčeky boli vyhotovené stláčaním v lise. Počas zrenia boli uložené vo vlhkom prostredí. Pre 4 % dávkovanie cementu/B-S 32,5 R (Turňa nad Bodvou) sú v tabuľke 2 uvedené dosiahnuté priemerné pevnosti v tlaku po 7 dňoch a po 28 dňoch a 10 zmrazovacích cykloch v súlade s normatívnou prílohou A.2 STN 73 6125. Pre zatriedenie skúmaných cementových stabilizácií do S II boli rozhodujúce dosiahnuté priemerné pevnosti  $R_T$  po 7 dňoch.

Spojivo	Materiál	Skúšané po	$R_T$ [Mpa]	
			namerané	STN 73 6125
4% cement/B- S 32,5 R Turňa n/Bodvou $\rho_d = 2485 \text{ kg.m}^{-3}$	Rudňany B	7 dňoch zmrazovacej skúške	2,12 4,77	1,80 – 3,00 min. 2,1
	Rudňany C	7 dňoch zmrazovacej skúške	2,25 4,53	1,80 – 3,00 min. 2,1

Tab. 2  $R_T$  cementových stabilizácií zistené na normových valčekoch  
Tab.2  $R_T$  of cement stabilizations investigated on testing rollers

### Dlhodobé sledovanie pevnostných charakteristík v laboratórnych podmienkach

Z pevnostných charakteristík boli na skúšobných hranoloch (10x10x40) cm<sup>3</sup> sledované pevnosti v tlaku  $R_T(t)$  a pevnosti v ťahu pri ohybe  $R_f(t)$  po t dňoch. V stanovených dňoch boli skúšobné hranoly podrobené deštrukčnej skúške v ťahu pri ohybe. Na 6-tich zvyškoch trámčov po zlomení boli zisťované pevnosti v tlaku. Skúšky boli vykonané v lise nastavenom na dosah najväčšej sily 300 kN tak, že zvyšky trámčov boli zovreté medzi železnými doskami (10x10) cm<sup>2</sup> uloženými presne nad sebou. Výsledky deštrukčnej skúšky na pevnosť v ťahu pri ohybe pre vzorky s označením Rudňany B sú vyhodnotené a uvedené v tabuľke 3 a pre Rudňany C v tabuľke 4. Výsledky skúšky pevnosti v tlaku pre Rudňany B sú uvedené v tabuľke 5 a pre Rudňany C v tabuľke 6.

Spojivo	Pevnosť v ťahu pri ohybe $R_f$ [MPa]					
	po 7 dňoch		po 28 dňoch		po 584 dňoch	
	jednotlivo	priemer	jednotlivo	priemer	jednotlivo	priemer
4% cement/B- S 32,5 R Turňa n/Bodvou $\rho_d = 2485 \text{ kg.m}^{-3}$ $w_{OPT} = 4,4 \%$	0,75	0,80	0,90	1,05	1,20	1,23
	0,90		1,05		1,35	
	0,75		1,20		1,14	

Tab. 3  $R_f$  cementovej stabilizácie Rudňany B zistené na trámcoch  
Tab.3  $R_f$  of cement stabilization Rudňany B investigated on beams

Spojivo	Pevnosť v ťahu pri ohybe $R_f$ [MPa]					
	po 7 dňoch		po 28 dňoch		po 584 dňoch	
	jednotlivo	priemer	jednotlivo	priemer	jednotlivo	priemer
4% cement/B- S 32,5 R Turňa n/Bodvou $\rho_d = 2485 \text{ kg.m}^{-3}$ $w_{OPT} = 4,5 \%$	0,84	0,88	1,17	1,21	1,35	1,55
	0,89		1,20		1,50	
	0,91		1,26		1,80	

Tab. 4  $R_f$  cementovej stabilizácie Rudňany C zistené na trámoch  
Tab.4  $R_f$  of cement stabilization Rudňany C investigated on beams

Spojivo	Pevnosť v tlaku $R_T$ [MPa]					
	po 7 dňoch		po 28 dňoch		po 584 dňoch	
	jednotlivo	priemer	jednotlivo	priemer	jednotlivo	priemer
4% cement/B- S 32,5 R Turňa n/Bodvou $\rho_d = 2485 \text{ kg.m}^{-3}$ $w_{OPT} = 4,4 \%$	2,0	2,13	2,9	2,92	3,4	3,55
	2,1		3,1		3,6	
	2,1		3,0		3,5	
	2,3		3,0		3,7	
	2,2		2,7		3,5	
	2,1		2,8		3,6	

Tab.5  $R_T$  cementovej stabilizácie Rudňany B zistené na zvyškoch trámov  
Tab.5  $R_T$  of cement stabilization Rudňany B investigated on rests of beams

pojivo	Pevnosť v tlaku $R_T$ [MPa]					
	po 7 dňoch		po 28 dňoch		po 584 dňoch	
	jednotlivo	priemer	jednotlivo	priemer	jednotlivo	priemer
4% cement/B- S 32,5 R Turňa n/Bodvou $\rho_d = 2485 \text{ kg.m}^{-3}$ $w_{OPT} = 4,5 \%$	1,9	2,18	3,2	3,20	3,9	4,17
	2,0		3,1		4,1	
	2,2		3,5		4,2	
	2,3		3,3		4,1	
	2,3		3,0		4,3	
	2,4		3,1		4,4	

Tab. 6  $R_T$  cementovej stabilizácie Rudňany C zistené na zvyškoch trámocov  
Tab.6  $R_T$  of cement stabilization Rudňany C investigated on rests of beams

Priemerná pevnosť v tlaku, dosiahnutá u cementovej stabilizácie Rudňany B, zistená po 7 dňoch na zvyškoch trámocov, je v porovnaní s pevnosťou zistenou na valčekoch o 0,01 MPa väčšia a u stabilizácie Rudňany C o 0,07 MPa menšia. Pevnosti, zistené na zvyškoch trámocov, v porovnaní s pevnosťami zistenými na valčekoch, ktoré boli navyše podrobené zmrazovacím cyklom, poklesli po 28 dňoch na vzorke Rudňany B o 1,85 MPa a na vzorke Rudňany C o 1,33 MPa. Sledovanie v ďalšom období ukázalo nárast pevnosti, ktorá po 584 dňoch dosiahla hodnotu na vzorkách Rudňany B 3,55 MPa a na vzorkách Rudňany C 4,17 MPa.

### Časový vývoj pevnostných charakteristík

Namerané pevnostné veličiny na cementových stabilizáciách Rudňany B a Rudňany C boli ďalej spracované matematicko-štatistickými metódami, s využitím metód korelačnej a regresnej analýzy, ktorou sa zistovala korelačná závislosť a jej tesnosť. Korelačná závislosť bola zisťovaná lineárnou a nelineárnou koreláciou a regresiou za pomoci štatisticko analytického systému SAS. Vzájomná závislosť sledovaných veličín, alebo od času  $t$ , bola modelovaná viacerými rovnicami. Výsledky štatistického spracovania sú v ďalšom uvedené regresnými rovnicami a korelačnými koeficientami  $r$ .

Sledované pevnosti cementových stabilizácií závisia od viacerých faktorov (Martinček, 1962; Mandula, 1995), ktoré môžeme rozdeliť do troch skupín:

- faktory, zohľadňujúce zložky cementových stabilizácií,
- faktory, zohľadňujúce technologický proces zhotovenia stabilizácií a
- faktory, popisujúce prostredie tvrdenia stabilizácií.

Nájdienie rovníc, ktoré by popisovali  $R_T$  alebo  $R_f$  cementových stabilizácií Rudňany B alebo Rudňany C ako funkciu uvedených faktorov, je obtiažne. Preto sme pri aproximovaní pevnosti v tlaku alebo pevnosti v ťahu pri ohybe cementových stabilizácií sústredili len na podstatný faktor - čas. Zo štatistickej analýzy vyplýva, že vývoj pevností  $R_T$  alebo  $R_f$  cementových stabilizácií Rudňany B a Rudňany C najlepšie popisuje nelineárna regresná rovnica:

$$R(t) = a - \frac{b}{t+c} \quad [\text{MPa}] \quad , \quad (1)$$

kde  $R(t)$  je všeobecné označenie pevnosti (platné pre  $R_T$  aj  $R_f$ ) [MPa],  $a, b, c$  sú regresné koeficienty a  $t$  je čas [dni].

Grafické znázornenie nameraných hodnôt  $R_T$  sledovaných cementových stabilizácií, uvedených v tabuľkách 5 a 6, ako aj vývoj pevností  $R_T(t)$  v čase  $t$ , daný rovnicou (1), sú uvedené na obrázku 1. Pre štatistické spracovanie boli jednotlivé merania, uvedené v tabuľkách 5 a 6, pre každé skúšobné teleso spriemerované. Na obrázku 2 sú znázornené zistené hodnoty  $R_f$  sledovaných cementových stabilizácií Rudňany B a Rudňany C, uvedené v tabuľkách 3 a 4, ako aj vývoj pevností  $R_f(t)$  v čase  $t$ , daný rovnicou (1). Hodnoty regresných koeficientov rovnice (1) sú uvedené v tabuľke 7.

Rovnicu (1) je možné upraviť tak, aby popisovala vývoj  $R_T(t)$  a  $R_f(t)$  cementových stabilizácií v čase  $t$  na základe kontrolnej skúšky, vykonanej napríklad po 28 dňoch. Potom platí:

$$R(t) = R(28) \left[ a_{28} - \frac{b_{28}}{t + c_{28}} \right] \quad [\text{MPa}] \quad , \quad (2)$$

kde  $R(28)$  je všeobecné označenie pevnosti zistenej po 28 dňoch tvrdenia deštrukčnou kontrolnou skúškou (platné pre  $R_T(28)$  aj  $R_f(28)$ ) [MPa],  $a_{28}$ ,  $b_{28}$ ,  $c_{28}$  sú regresné koeficienty uvedené pre Rudňany B a Rudňany C v tabuľke 7.

V praxi je dôležité vedieť predpovedať vývoj pevností tak, aby kontrolná skúška odhalila prípadné zníženie kvality cementovej stabilizácie čo najskôr. Môže sa tým predísť prípadným rozsiahlym škodám. Predpovedať vývoj pevností na základe kontrolnej deštrukčnej skúšky vykonanej po 7 dňoch tvrdenia je možné rovnicou:

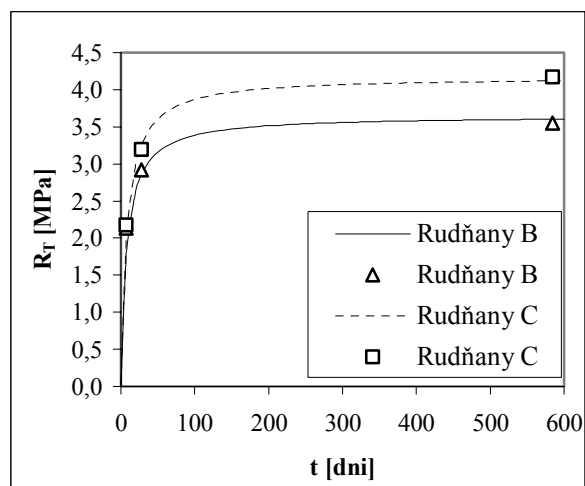
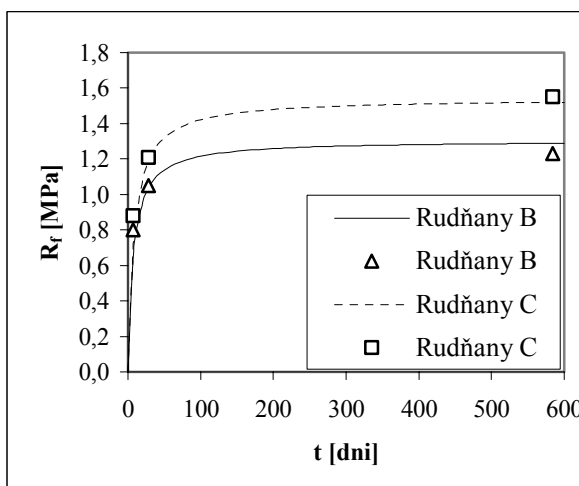
$$R(t) = R(7) \left[ a_7 - \frac{b_7}{t + c_7} \right] \quad [\text{MPa}] \quad , \quad (3)$$

kde  $R(7)$  je všeobecné označenie pevnosti zistenej po 7 dňoch tvrdenia kontrolnou skúškou (platné pre  $R_T(28)$  aj  $R_f(28)$ ) [MPa],  $a_7$ ,  $b_7$ ,  $c_7$  sú regresné koeficienty uvedené pre Rudňany B a Rudňany C v tabuľke 7.

Regresný koeficient	Hodnoty regresných koeficientov cementových stabilizácií pre moduly			
	$R_T(t)$		$R_f(t)$	
	Rudňany B	Rudňany C	Rudňany B	Rudňany C
a	3,6481948	4,1730075	1,3037745	1,5419055
b	28,1820679	32,8951073	9,5423031	13,1007423
c	7,7249347	7,8828269	7,3189828	8,4964623
$a_{28}$	1,2493818	1,3040648	1,2416911	1,2743021
$b_{28}$	9,6513932	10,2797211	9,0879077	10,8270603
$c_{28}$	7,7249347	7,8828296	7,3189828	8,4964623
$a_7$	1,7127675	1,9142236	1,6297181	1,7521653
$b_7$	13,2310180	15,0894992	11,9278790	14,8872072
$c_7$	7,7249347	7,8828196	7,3189828	8,4964623

Tab.7 Regresné koeficienty rovníc (1), (2) a (3)

Tab.7 Regress coefficients of equations (1), (2) a (3)



Obr. 1 Vývoj  $R_T$  v závislosti na veku cementových stabilizácií  
 Fig. 1 Evolution of  $R_T$  dependence on age of cement stabilizations

Obr. 2 Vývoj  $R_f$  v závislosti na veku cementových stabilizácií  
 Fig. 2 Evolution of  $R_f$  dependence on age of cement stabilizations

### Vzťah medzi pevnostnými a pružnostnými charakteristikami

Skutočnosť, že zmeny modulu pružnosti spravidla sledujú vývoj pevností betónov, je už dokázaná. Sú známe práce, zaoberajúce sa vzťahom medzi dynamickým modulom pružnosti a pevnosťou betónu (Martinček, 1962). Pri matematicko-štatistickom skúmaní závislosti týchto dvoch sledovaných veličín na cementových stabilizáciách Rudňany B a Rudňany C, boli použité viaceré rovnice. Z korelačnej a regresnej analýzy sa javí ako najvhodnejší exponenciálny model v tvare:

$$R_T = a \cdot E_{rL}^b \quad [\text{MPa}] , \quad (4)$$

resp.

$$E_{rL} = c \cdot R_T^d \quad [\text{MPa}] , \quad (5)$$

kde a, b, c, d sú regresné koeficienty združených exponenciálnych regresných modelov (4) a (5), ktorých hodnoty sú uvedené pre Rudňany B aj Rudňany C v tabuľke 8.

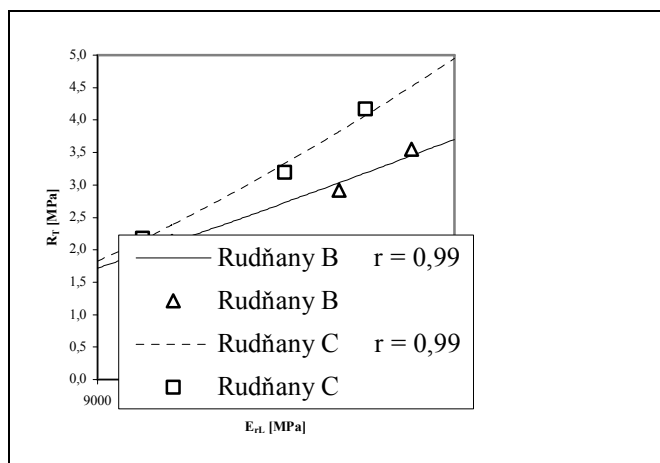
Modul	Regresný koeficient	Hodnoty regresných koeficientov cementových stabilizácií	
		Rudňany B	Rudňany C
$R_T$	a	$2,832386 \cdot 10^{-5}$	$1,143015 \cdot 10^{-6}$
	b	1,209422	1,568774
$E_{rL}$	c	$5,845942 \cdot 10^3$	$6,196532 \cdot 10^3$
	d	0,812316	0,628196

Tab.8 Regresné koeficienty modelov (4) a (5)

Tab.8 Regression coefficients of models (4) a (5)

Z dosiahnutých výsledkov je možné zistiť, že s vekom skúmaných cementových stabilizácií rastú pevnosti v tlaku  $R_T$  aj dynamické moduly pružnosti  $E_{rL}$ . Z nárastu skúmaných veličín podľa tabuľky 9 a 10 je možné konštatovať, že:

1. dynamické moduly pružnosti  $E_{rL}$  a pevnosti  $R_T$  v sledovanom období narastajú, ale kvantitatívne rôznym spôsobom. Pokiaľ nárast  $R_T$  medzi 7. a 28. dňom tvrdenia a medzi 28. a 584. dňom tvrdenia je približne rovnaký, nárast  $E_{rL}$  medzi tými istými dňami je približne polovičný,
2. pokiaľ zistené priemerné pevnosti v tlaku na vzorkách Rudňany B sú menšie ako na vzorkách Rudňany C, pri dynamických moduloch pružnosti v tlaku je to práve naopak a
3. pokiaľ nárast pevnosti v tlaku na vzorkách Rudňany B je menší ako na vzorkách Rudňany C, nárast dynamických modulov pružnosti v tlaku medzi 7. a 28. dňom je práve opačný.



Obr. 3 Vzťah medzi  $R_T$  a  $E_{rL}$  na skúmaných cementových stabilizáciách  
Fig.3 Relation between  $R_T$  a  $E_{rL}$  on investigated cement stabilizations

Z uvedeného rozboru vyplýva, že určujúcim faktorom vývoja skúmaných charakteristík cementových stabilizácií je cement, jeho množstvo a hydratačný proces. Za predpokladu dostatočného množstva vody, vývoj pevnosti pokračuje aj po 28. dni. Hydratačný proces po 28 dňoch tvrdnutia pružnostné charakteristiky cementových stabilizácií neovplyvňuje až tak výrazne, ich nárast je o polovicu menší. Je to preto, že faktorom, ovplyvňujúcim vývoj dynamických modulov pružnosti v tlaku cementových stabilizácií v čase je kamenivo, ktoré dosahuje podstatne väčšie hodnoty ako sú moduly pružnosti cementového kameňa.

Dni	$R_T$ [MPa]		$E_{rL}$ [MPa]	
	namerané	nárast	namerané	nárast
7	2,13	0,79	10672,883	3741,813
28	2,92		14414,696	
584	3,55	0,63	16040,655	1625,959

Tab. 9 Nárast priemerných hodnôt  $R_T$  a  $E_{rL}$  charakteristík cementovej stabilizácie Rudňany B  
Tab.9 Increase of average values  $R_T$  and  $E_{rL}$  of cement stabilization Rudňany B

Dni	$R_T$ [MPa]		$E_{rL}$ [MPa]	
	namerané	nárast	namerané	nárast
7	2,18	1,02	9993,239	3246,364
28	3,20		13239,603	
584	4,17	0,97	14941,050	1701,447

Tab.10 Nárast priemerných hodnôt  $R_T$  and  $E_{rL}$  charakteristík cementovej stabilizácie Rudňany C  
Tab.10 Increase of average values  $R_T$  and  $E_{rL}$  of cement stabilization Rudňany C

## Záver

Z uvádzaných výsledkov je zjavné, že nie je možné odvodiť všeobecne platné vzťahy, ktoré by popisovali vývoj skúmaných veličín v čase pre cementové stabilizácie vyrobené z rôzneho kameniva, pri rôznom množstve cementu, atď. Taktiež platí, že nie je možné odvodiť všeobecne platné vzťahy medzi dynamickými modulmi pružnosti v tlaku a pevnosťami cementových stabilizácií v tlaku, vyrobených z rôzneho kameniva. Avšak, pre konkrétny druh cementovej stabilizácie, pri známom zložení zmesi a pri rovnakom spôsobe ošetrovania, je možné s primeranou presnosťou stanoviť regresné závislosti.

Na záver je treba povedať, že na dlhodobé sledovanie cementových stabilizácií v laboratórnych podmienkach boli použité zvláštne skúšobné telesá. Ich namáhanie v priebehu laboratórnych meraní nezodpovedá celkom skutočnosti, pretože neboli vystavené cyklickým účinkom mrazu. Navyše, po zabudovaní takýchto stabilizovaných stavebných zmesí stmelých cementom do podkladových vrstiev vozoviek diaľnic, ciest, atď., dochádza v niektorých prípadoch v krátkom, niekedy v dlhšom časovom odstupe k zhotoveniu asfaltových vrstiev a k uvedeniu vozovky do prevádzky. Vzniká potom otázka, aký vplyv má na životnosť vozovky (prevádzkovú výkonnosť) nárast pevnosti s časom pri zaťažovaní a či tento poznatok nevedie k zdôvodneniu tvorby zmrašťovacích trhlín vo vrstve stabilizácie a k ich nežiaducemu kopírovaniu do obrusnej vrstvy. V každom prípade je potrebné pri zabudovaní cementových stabilizácií do podkladových vrstiev vozoviek rátať v technologickom procese s ošetrovaním týchto vrstiev, až do doby polozenia asfaltových vrstiev.

### Literatúra

- ĎURICA, T. a kol.: Využitie druhotných surovín v stavebníctve. Správa k záverečnej oponentúre VÚ A4/4-3-VI, Košice, 1992.
- MANDULA, J.: Sledovanie pružnostných charakteristík cementových stabilizácií z banských haldových materiálov. Inžinierske stavby 2/1997, Bratislava, 1997, str. 61 - 64.
- MANDULA, J.: Sledovanie cementovej stabilizácie z vysokopecnej trosky v laboratórnych podmienkach. Silniční obzor 10/95, Praha, 1995, str. 325 - 329.
- MANDULA, J.: Analýza vývoja sledovaných charakteristík cementovej stabilizácie z vysokopecnej trosky. Silniční obzor 12/95, Praha, 1995, str. 379 – 382.
- MANDULA, J.: Analýza vývoja pevnostných charakteristík cementovej stabilizácie z vysokopecnej trosky VSŽ v čase. Príspevok na konferencii "Kamenivo pre cestné účely ", TU-SvF a IS, a.s., Košice, Herľany, 1995, str.27 – 42.
- MARTINČEK, G.: Nedeštruktívne dynamické metódy skúšania stavebných materiálov. Vydavateľstvo SAV, Bratislava, 1962.