

OBJEKTIVIZÁCIA ÚNOSNOSTI ZEMNÝCH KONŠTRUKCIÍ LETISKOVÝCH PLÔCH

MARTIN DECKÝ

*Department of Highway Engineering, University of Žilina, Univerzitná 8215/1,
Žilina, 01001, Slovakia
martin.decky@fstav.uniza.sk*

EVA REMIŠOVÁ

*Department of Highway Engineering, University of Žilina, Univerzitná 8215/1,
Žilina, 01001, Slovakia
eva.remisova@fstav.uniza.sk*

MATÚŠ KOVÁČ

*Department of Highway Engineering, University of Žilina, Univerzitná 8215/1,
Žilina, 01001, Slovakia
matus.kovac@fstav.uniza.sk*

Abstrakt

V príspevku sú uvedené výstupy objektivizácie únosnosti zemných konštrukcií letiskových plôch prostredníctvom skúšky CBR (California Bearing Ratio). Táto skúška patrí medzi svetovo najrozšírenejšie laboratórne skúšky kvality zemných konštrukcií. V rámci výskumných aktivít autorov bola objektivizovaná korelačná závislosť hodnôt CBR od vlhkosti materiálu zásypu ryhy nachádzajúcej sa v páse prístrojovej vzletovej a pristávacej dráhy (runway - RWY). Skúšky CBR sa uskutočnili na vzorkách štrku ílovitého, ktoré boli pripravené v skúšobných valcoch používaných pre skúšku Proctor modifikovaný. Zistená korelačná závislosť umožňuje určiť pri akej vlhkosti sú splnené požiadavky pásu prístrojovej RWY odporúčané v Aerodrome Design Manual.

Kľúčové slová

Laboratórne stanovenie zhutniteľnosti zemín, Laboratórne stanovenie pomeru únosnosti zemín (CBR).

1. Predpisy a požiadavky pre hodnotenie únosnosti zemných konštrukcií letiskových plôch

Pri hodnotení kvality zemných konštrukcií podobne ako v ostatných stavebných konštrukciách je nevyhnutné uplatniť systémový prístup. Zemná konštrukcia je konštrukčný systém tvoriaci integrálnu súčasť konkrétneho inžinierskeho stavebného diela (pozemnej komunikácie, železničnej dráhy, letiska,...). Kvalita je podľa medzinárodnej normy ISO 8402 definovaná ako súhrn vlastností výrobku alebo služby, ktoré vyjadrujú ich schopnosť uspokojovať požiadavky odberateľa.

Relevantným dokumentom ku kontrole kvality zemných konštrukcií letiskových plôch je Aerodrome Design Manual, Part 1 (Aerodrome Design) a L 14 Letiská, I. zväzok, Navrhovanie a prevádzka letísk (L 14 Letiská, 2006), podľa ktorých sa určuje únosnosť zemných konštrukcií skúškou CBR (Californina Bearing Ratio) v zmysle STN 72 1016. V (L 14 Letiská, 2006) sa v Hlave 3 Fyzikálne charakteristiky letísk v časti Únosnosť postranných pásov vzletovej a pristávacej dráhy uvádzajú nasledujúce skutočnosti. Postranný pás RWY musí byť upravený alebo vybudovaný tak, aby bol schopný zniesť zaťaženie lietadla bez poškodenia konštrukcie lietadla, v prípade jeho vybehnutia z RWY a schopný zniesť zaťaženie pozemných vozidiel (mobilných prostriedkov), ktoré môžu postranný pás používať. Poznámka: Informácie o únosnosti postranných pásov RWY sú uvedené v Aerodrome Design Manual, Part 1 (Aerodrome Design). V časti Únosnosť pásu vzletovej a pristávacej dráhy je uvedené. Pre časť pásu prístrojovej RWY do vzdialenosti najmenej:

- 75 m pre RWY s kódovým číslom 3 alebo 4,
- 40 m pre RWY s kódovým číslom 2,
- 30 m pre RWY s kódovým číslom 1,

sa odporúča hodnota CBR od 15 do 20 %. Pred vlastnou skúškou CBR je potrebné vykonať laboratórnu skúšku kvality zhutnenia zemín prostredníctvom podľa STN 72 1015. Skúška CBR patrí medzi svetovo najrozšírenejšie laboratórne skúšky kvality zemných konštrukcií. Podľa (Pospišil, 2000) sa hodnota CBR vo väčšine krajín určuje podľa metodiky, ktorá je obsiahnutá buď v americkej ASTM D1883 alebo anglickej BS 1377, ktorá však z americkej normy vychádza. V SR platí STN 72 1016, ktorá v podobe z roku 1992 je blízka metodike stanovení CBR podľa anglického štandardu, avšak používané formy odpovedajú skôr americkému štandardu.

2. Výsledky laboratórnych skúšok

Úlohou skúšky zhutniteľnosti zeminy (STN 72 1015, 1988) je nájsť optimálnu vlhkosť w_{opt} pri ktorej možno zeminu alebo navrhnutú zmes zhutniť v skúšobnom zariadení na najvyššiu, teda maximálnu objemovú hmotnosť $\rho_{d,max}$. Pri stanovení zhutniteľnosti zemin sa využívajú dva laboratórne postupy:

- Proctor štandard (PS),
- Proctor modifikovaný (PM).

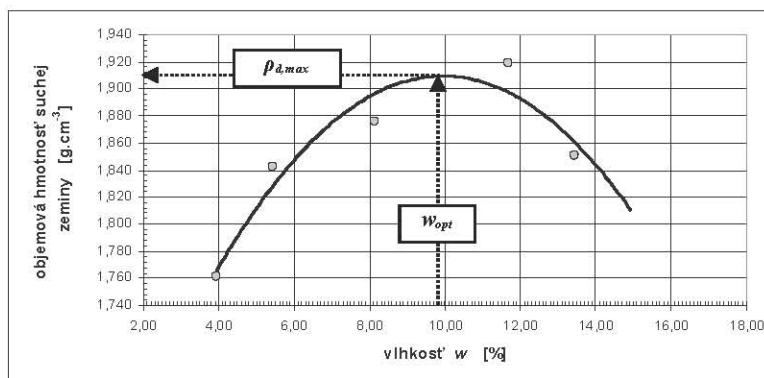
Rozdiely medzi nimi sú v intenzite hutnenia, počte vrstiev a veľkosti skúšobných valcov. Pri závažnejších dopravných stavbách (stavba letísk, diaľnic) sa predpisuje postup podľa PM. Pre posudzovanú zemnú konštrukciu zásypu ryhy v páse prístrojovej RWY (obr.1) boli vyhodnotené údaje podľa tab. 1 a obr. 2



Obr. 1. Pohľady na posudzovanú zemnú konštrukciu z dňa 16. 10. 2012

Tabuľka 1 Číselné vyhodnotenie skúšky Proctor modifikovaný.

Údaje pre vlhkosť w										
číslo	hmotnosť vlhkej zeminy [g]	objemová hmotnosť vlhkej zeminy [g.cm ⁻³]	číslo misky	hmotnosť misky vlhkej zeminy [g]	hmotnosť misky suchej zeminy [g]	hmotnosť ody [g]	hmotnosť misky [g]	hmotnosť suchej zeminy [g]	vlhkosť [%]	objemová hmotnosť suchej zeminy [g.cm ⁻³]
	2	2/objem valca	3	4	5	6=4-5	7	8=5-7	9=100.6/8	10
1	4283	1,83	K1	414,5	404,8	9,7	158	246,8	3,93	1,761
2	4449	1,942	K4	459	442,8	16,2	144,6	298,2	5,43	1,842
3	4649	2,029	K3	429,7	408,2	21,5	144,2	264	8,14	1,876
4	4810	2,143	K6	432,9	403,4	29,5	151,1	252,3	11,69	1,919
5	4810	2,099	K2	468,3	430,8	37,5	151,7	279,1	13,44	1,850



Obr. 2. Vyhodnotenie skúšky Proctor modifikovaný

Vyhodnotením skúšky Proctor modifikovaný bolo zistené:

- optimálna vlhkosť..... $w_{opt} = 9,9 \%$,
- maximálna objemová hmotnosť suchej zeminy..... $\rho_{d,max} = 1,910 \text{ g.cm}^{-3}$

Skúšobná vlhkosť w_{sk} v % sa stanoví u zemín, ak ich číslo plasticity $I_p > 1$, podľa vzťahu

$$w_{sk} = w_{opt} + \Delta w_{sk} \quad (1)$$

kde: w_{opt} je optimálna vlhkosť stanovená podľa STN 72 1015 [%]

Δw_{sk} je prírastok vlhkosti podľa tab. 2 [%]

Tabuľka 2 Prírastky vlhkosti podľa STN 72 1016

Názov zeminy	Δw_{sk} [%]
hlinitý piesok, ílovitý piesok	1,0
piesčitá hlina, hlina	2,0
ílovitá hlina piesčitá, ílovitá hlina, prachovitá hlina, íl, piesčitý íl	3,0

Pri skúške CBR sa sleduje penetrácia od sily vyvodzovanej zaťažovacím lisom (obr. 3), ktorý je schopný vyvolať 50 kN zaťaženie. Lis musí mať posuvnú hornú alebo spodnú dosku, ktorá je schopná sa pohybovať rovnomerne rýchlo tak, aby rýchlosť penetrácie bola $1,00 \text{ mm.min}^{-1}$. Pri vyhodnocovaní skúšky CBR je nutné jednotlivými bodmi preložiť krivku. Pokiaľ má krivka počiatočnú časť konvexnú je nutné krivku opraviť, a to tak, že v mieste najväčšieho sklonu krivky sa k nej zostrojí dotyčnica a priesečník dotyčnice s vodorovnou osou sa považuje za nový začiatok (obr. 4 až 6). Sily pri penetrácii 2,5 mm a 5,0 mm odčítané z vyrovnanej krivky sa podelia štandardnými silami 13,2 kN (2,5 mm) a 20,0 kN (5,0 mm). Prenásobením 100 dostávame hodnotu CBR v % podľa vzťahu:

$$CBR = \frac{F}{F_s} \cdot 100 \quad (2)$$

kde: F - nameraná sila [kN]

F_s - štandardná sila [kN]



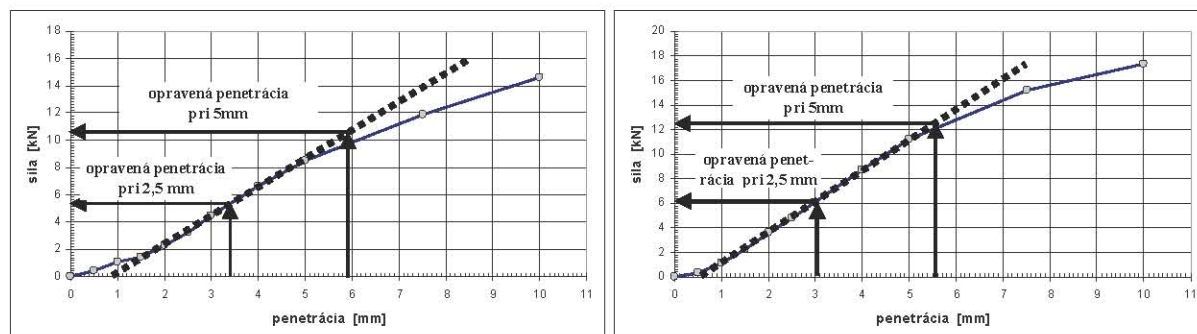
Obr. 3. Zariadenie pre meranie CBR

Kalifornský pomer únosnosti (CBR) je obvykle pomer prislúchajúci penetrácii 2,5 mm. Ak je pomer únosnosti pri penetrácii 5,0 mm väčší než pri penetrácii 2,5 mm, je nutné skúšku zopakovať. Ak aj pri opakovaní skúšky je pomer únosnosti pri penetrácii 5,0 mm väčší, uvažuje sa ako výsledok skúšky tento väčší pomer. Výsledok skúšky je hodnota kalifornského pomeru únosností CBR v %. Výsledná hodnota je priemer z dvoch určení zaokrúhlená podľa tab. 3.

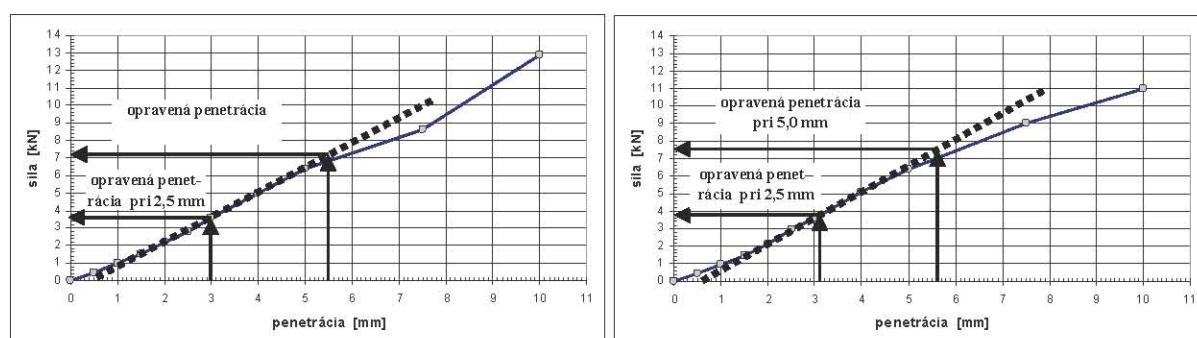
Tabuľka 3 Spôsob zaokrúhľovania hodnoty CBR

Rozmedzie CBR podľa STN	< 30	30 až 100	>100
Zaokrúhľovanie na najbližšiu hodnotu	1 %	5%	10%

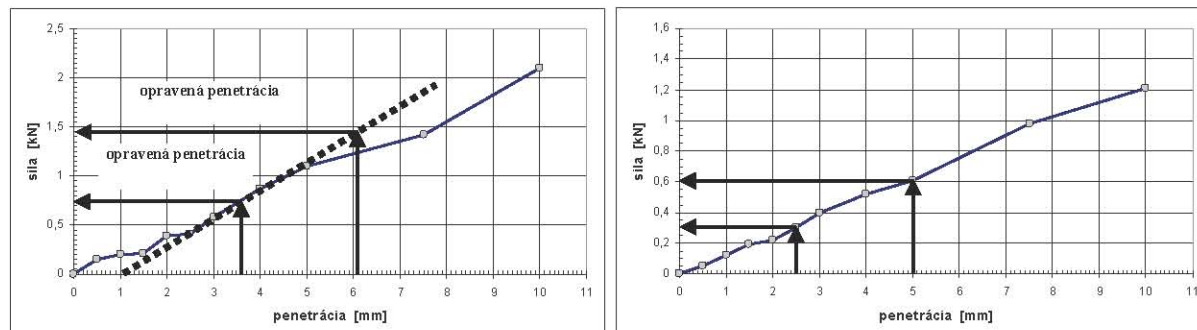
Z dôvodu, že únosnosť posudzovanej konštrukcie je výrazne determinovaná vlhkosťou zeminy, boli vykonané skúšky CBR pri všetkých vlhkostiach použitých pri skúške Proctor modifikovaný. Výsledky sú uvedené na obr. 4 až 6 a v tab. 4.



Obr. 4. Oprava hodnôt pre vyhodnotenie CBR pre vlhkosť $w = 3,9\%$ a $5,4\%$



Obr. 5. Oprava hodnôt pre vyhodnotenie CBR pre vlhkosť $w = 8,1\%$ a $11,7\%$

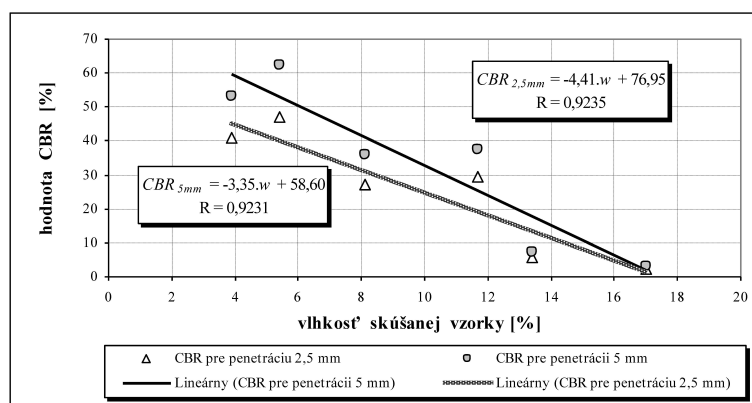


Obr. 6. Oprava hodnôt pre vyhodnotenie CBR pre vlhkosť $w = 13,4\%$ a $17,0\%$

V tab. 4 sú uvedené opravené čítania síl a tomu odpovedajúce hodnoty CBR. Na obr. 7 je prezentovaná korelačná závislosť hodnôt CBR vyhodnotených pre penetráciu 2,5 a 5 mm od vlhkosti skúšanej zeminy.

Tabuľka 4 Opravené čítania síl a hodnoty CBR.

Vlhkosť w [%] sily pre	Opravené zaťažovacie		Určenie hodnôt CBR			
			Vypočítané hodnoty CBR		Zaokrúhlenie podľa STN 72 1016	
	2,5 mm	5,0 mm	2,5 mm	5,0 mm	2,5 mm	5,0 mm
3,9	5,4	10,6	40,9	53,0	40	55
5,4	6,2	12,5	47,0	62,5	45	60
8,1	3,6	7,2	27,3	36,0	27	36
11,7	3,87	7,5	29,3	37,5	29	38
13,4	0,75	1,45	5,7	7,3	6	7
17,0	0,3	0,6	2,3	3,0	2	3



Obr. 7 Závislosť hodnôt CBR vyhodnotených pre penetrácie 2,5 a 5 mm od vlhkosti skúšanej zeminy

Záver

V príspevku sú uvedené výstupy objektivizácie únosnosti zemných konštrukcií letiskových plôch prostredníctvom skúšky CBR (California Bearing Ratio). Táto skúška patrí medzi svetovo najrozšírenejšie laboratórne skúšky kvality zemných konštrukcií. V rámci výskumných aktivít autorov bola objektivizovaná korelačná závislosť hodnôt CBR od vlhkosti materiálu zásypu ryhy nachádzajúcej sa v páse prístrojovej vzletovej a pristávacej dráhy (runway - RWY). Skúšky CBR sa uskutočnili na vzorkách štrku fľovitého, ktoré boli pripravené v skúšobných valcoch používaných pre skúšku Proctor modifikovaný, ktorou bola zistená optimálna vlhkosť $w_{opt} = 9,9 \%$ a maximálna objemová hmotnosť suchej zeminy $\rho_{d,max} = 1\,910 \text{ kg.m}^{-3}$. Zistená korelačná závislosť umožňuje určiť pri akej vlhkosti sú splnené požiadavky pásu prístrojovej RWY odporúčané v Aerodrome Design Manual.

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt „Brokerské centrum leteckej dopravy pre transfer technológií a znalostí do dopravy a dopravnej infraštruktúry“. (ITMS: 26220220156) ktorý je spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja a tiež ako súčasť riešenia grantovej úlohy VEGA 1/0804/12 Vplyv materiálového zloženia asphaltovej zmesi na charakteristiky textúry povrchu vozovky a produkciu emisií.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/ Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

Literatúra

- [1] *Aerodrome Design Manual*. Part 1. Runways.
- [2] *L 14 LETISKÁ. I. zväzok Navrhovanie a prevádzka letísk*. MDPT SR 2006, s. 237, ISBN 80-969299-8-4..
- [3] Drusa, M., Decký, M., Pitoňák, M. (2012): *Určenie pomeru únosnosti zemin metódou CBR po realizovaných výkopových prácach na letisku Žilina – Dolný Hričov*. CEDS, SvF, Žilinská univerzita v Žiline .
- [4] Decký, M., Drusa, M., Pepucha, L., Zgútová, K. (2013): *Earth Structures of Transport Constructions*. Scientific monograph, London: Pearson Education Limited, Edidburg Gate, Harlow2013. Editor: prof. Dr. Ing. Martin Decký, ISBN 978-1-78399-925-5.
- [5] STN 72 1016 Laboratórne stanovenie pomeru únosnosti zemin (CBR), 1992.
- [6] STN 72 1015 Laboratórne stanovenie zhutniteľnosti zemin, 1988.
- [7] Pospíšil, K. (2000). Zahájení výzkumu v oblasti analýzy vztahu kalifornského poměru únosnosti a modulu přetvárnosti ve druhém zatěžovacím cyklu zemin zemní pláň pozemních komunikací. In *Inžinierske stavby*, roč. 48, 2000, č. 5-6, s.172-175, ISSN 1335-0846.
- [8] ASTM D1883: 1999 Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory Compacted Soils. ASTM, 1999.
- [9] BS 1377 Methods of test for soils for civil engineering purposes - Part 7. Shear strength tests (total stress). BSI, 1990.