

SILNIČNÍ A GEOTECHNICKÁ LABORATOŘ

podklady do cvičení
KALIFORNSKÝ POMĚR ÚNOSNOSTI

Ing. Marek Mohyla
Místnost: C 315
Telefon: 597 321 362
E-mail: marek.mohyla@vsb.cz

Kalifornský poměr únosnosti

Dotčené normy a předpisy

- **ČSN EN 13286-47 (736185)** Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání.
- **ČSN EN 13286-2 (73 6185)** Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - Proctorova zkouška.
- **ČSN EN 14227-10 (736156)** Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 10: Zeminy upravené cementem.
- **ČSN EN 14227-11 (736156)** Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 11: Zeminy upravené vápnem.
- **ČSN EN 14227-13 (736156)** Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 13: Zeminy upravené hydraulickými silničními pojivy.
- **TP 170** Navrhování vozovek pozemních komunikací.

Účel zkoušky

Kalifornský poměr únosnosti CBR (California Bearing Ratio) byl vyvinut před 2. světovou válkou v Kalifornii. Zkouška byla určena pro měření únosnosti podkladních půd při výstavbě silnic. Využívána byla také jako kontrola únosnosti neupravených startovacích a přistávacích dráh letadel. V dnešní době CBR slouží jako průkazné a kontrolní zkoušky při vyhodnocení únosnosti podloží a konstrukčních vrstev silničních komunikací.

Kalifornský poměr únosnosti je číslo (v %) vyjadřující poměr síly potřebné k zatlačení standardního trnu konstantní rychlostí do stanovené hloubky vzorku zeminy vůči síle potřebné k zatlačení téhož trnu do stejné hloubky v normovém kamenivu. Normové kamenivo pro tuto zkoušku je drcený vápenec nacházející se v Kalifornii (CBR = 100%).

Výpočtem lze stanovit hodnotu CBR dle vztahu [1]:

$$CBR = \frac{F}{F_s} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

kde:

F je síla potřebná k zatlačení trnu do stanovené hloubky ve zkoušené zemině [kN],

F_s je standardní síla potřebná k zatlačení trnu do stanovené hloubky v normovém kamenivu [kN].

Tab. 1 Hodnoty standardních sil pro normové kamenivo [1]

<i>Penetrace [mm]</i>	<i>Standardní síla [kN]</i>
2,5	13,2
5	20

Varianta zkoušky CBR je IBI (Immediate bearing index), což je okamžitá hodnota Kalifornského poměru únosnosti bez použití zatěžovacího prstence. IBI se zjišťuje krátce po úpravě zeminy (např. hutněním), v případě zemin upravených hydraulickými pojivy do 90 min po smíchání směsi, v případě použití vápna však ne dříve než za 60 min.

Orientační hodnoty CBR a IBI

Tab. 2 Orientační hodnoty CBR dle typu podloží [1, 3]

<i>Místo</i>	<i>požadavek CBR [%]</i>
typ podloží PI, tloušťka horní vrstvy > 0,5 m	≥ 10
typ podloží PII	5 - 15
typ podloží PIII	3 - 10

Tab. 3 Orientační hodnoty CBR dle zkoušené zeminy [1, 3]

<i>Zemina</i>	<i>CBR [%]</i>
hlína s extrémně vysokou plasticitou (při optimální vlhkosti)	2 – 5
šterkovitá hlína (při optimální vlhkosti)	8 – 18
šterk dobře změněný	40 - 80

Tab. 4 Orientační hodnoty IBI [1, 3]

<i>Místo</i>	<i>IBI [%]</i>
rychlá kontrola únosnosti zemin - pojezd běžnou stavební technikou	≥ 5
podloží násypu neupravených zemin - kontrolní a průkazní zkoušky	≥ 5
podloží násypu u upravených zemin - kontrolní a průkazní zkoušky	≥ 10

Parametry použitého zařízení

- proctorova forma pro modifikovanou Proctorovou zkoušku s nástavcem typ B, s vnitřními rozměry: Ø 150 mm a výšce 120 mm (+ 51 mm nástavec) [2],
- podkladní deska tloušťky 10 mm,
- pěch typ A nebo B, parametry pěchu B: hmotnost 4,5 kg; výška pádu 45,7 cm,
- přitěžovací prstence (pro CBR) s hmotností > 4,54 kg,
- penetrační ocelový trn o Ø 50 mm,
- váha (do 30 kg, přesnost ± 0,1%),

- zatěžovací zařízení (lis) s konstantní rychlostí pohybu 1,27 mm a silou nejméně 50 kN,
- zařízení pro měření lineárního bobtnání (úchylkoměr s přesností 0,05 mm, trojnožka držákem pro uchycení úchylkoměru, perforovaná podkladní deska tloušťky 10 mm),
- sušička pro stanovení vlhkosti,
- další běžné laboratorní pomůcky (filtrační papír, ocelové pravítko, škrabka apod.)

Postup zkoušky

- příprava zeminy: pro jednu zkoušku je potřeba připravit cca 7,5 kg směsi (vzorku) o max. průměru zrn 22,4 mm [1]. Vzorek se navlhčí na optimální vlhkost (dle Proctorovy zkoušky zhutnění) nebo dle požadavků. V závěrečném protokolu je nutné uvést na jakou vlhkost byla zemina vlhčena. Obsahuje-li směs jílovité částice, je třeba nechat provlhčenou zeminu v uzavřené nádobě nejméně 24 hod. z důvodu zajištění rovnoměrného provlhčení,
- příprava vzorku: pomocí Proctorovy modifikované zkoušky zhutnění se připraví vzorek dle následujícího schématu. Před přípravou vzorku je potřeba zvážít proctorovu formu, následně se upne do podkladní desky. Dno formy se opatří hrubým filtračním papírem, který umožní jednodušší oddělení podkladní desky od vzorku zeminy. Poté se v 5-ti rovnoměrných vrstvách uhutní připravená zemina beranem o hmotnosti 4,5 kg, který padá z výšky 45 cm. Každá vrstva se hutní 25 údery. Při hutnění posledních vrstev se forma opatří nástavcem. Poslední vrstvu je potřeba připravit tak, aby se její povrch po zhutnění nacházel nad okrajem proctorovy formy bez nástavce. Po zhutnění se vrchní strana vzorku jemně začistí škrabkou do roviny s okrajem proctorovy formy a skontroluje se ocelovým pravítkem. Malé díry, které mohou vzniknout při srovnávání, je možné opravit. Zbytek připraveného materiálu se použije pro stanovení vlhkosti. Vzorek je již připraven ke zkoušce v případě, že není požadováno zrání vzorku:
- zrání vzorku: v některých případech může být požadována doba zrání vzorku, tu je možno realizovat následujícími způsoby:
 - zrání při zamezení odpařování: vzorek je např. uložen v klimatizované komoře, nebo jsou obnažené plochy vzorku jinak chráněny proti vysychání (vosk, vazelína, těsnící páska apod.)
 - zrání umožňující úplné nasycení vzorku: vzorek zeminy je ponořen pod hladinu vody na dobu nejméně 96h. Tento způsob zrání je realizován mezi jednotlivými zkouškami CBR na jednom vzorku. Během tohoto způsobu zrání se běžně určuje bobtnání vzorku.
 - zrání při zamezení odpařování, po úplném nasycení: jedná se o kombinaci předešlých způsobů zrání. Vzorku zeminy je po určité době sycení zamezeno odpařování.

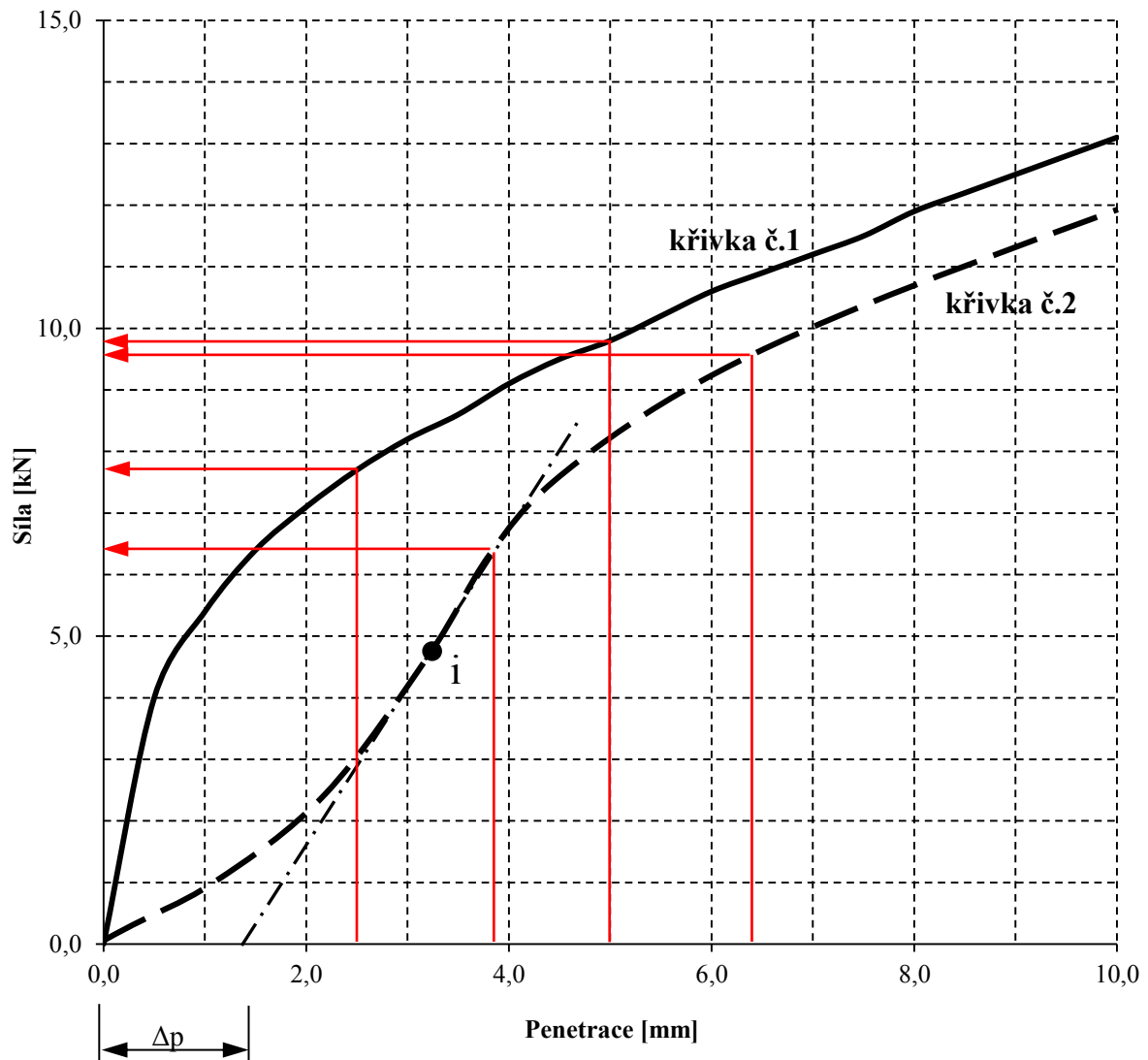
- usazení vzorku do lisu: před měřením se vzorek zeminy otočí, tozn. původně spodní část vzorku je obnažena a určena ke zkoušení. Připravený vzorek se umístí do středu zatěžovacího lisu. Vrchní strana vzorku se osadí zatěžovacím trnem o průměru 50 mm a zatěžovacími prstenci (v případě zjišťování IBI se prstence nepoužívají!). Na lisu se nastaví rychlost 1,27 mm/min [1] a pomocí ovládacích tlačítek pro rychý posun se nastaví hrubé dosednutí kloubu lisu na roznášecí vložku nad trnem (viz. příloha č. 1). Následuje jemné dosednutí pomocí pomalého posuvu a osazení optoelektronického lineárního snímače dráhy pro měření zatlačení trnu.
- měření: před vlastním měřením se provede dosednutí trnu na vzorek. Jsou-li očekávané hodnoty CBR / IBI menší než 5% provede se dosednutí o síle 10 N, jinak 40 N. Čtení zatlačení se po dosednutí trnu nuluje. Poté se spustí samotné měření, během kterého je trn vháněn do vzorku zeminy konstantní rychlostí 1,27 mm/min. Během měření se zaznamenává hodnota síly potřebná k zatlačení trnu o každého 0,5 mm. Měření končí při zaboření trnu o 10 mm. Vyhodnocení výsledků je prezentováno v části „*Vzorový příklad vyhodnocení CBR*“.
- příprava vzorku pro zrání: proctorova forma se zeminou se upevní na perforovanou podkladní desku zkoušenou části vzorku směrem dolů a osadí se nástavcem. Celá sestava se umístí do nádoby, která umožní celé ponoření vzorku. Na vrch vzorku se osadí přitěžovací prstence, které během zrání simulují konstrukci vozovky. Na nástavec se umístí trojnožka s uchyceným úchylkoměrem pro měření lineárního bobtnání a odečte se nulté čtení h_0 . Po 96 hod. se odečte čtení h_1 a provede se zkouška CBR (viz.: „*usazení vzorku do lisu*“ a „*měření*“).
- vyhodnocení zkoušky a stanovení hodnot $CBR_{2,5}$ a $CBR_{5,0}$.

Vyhodnocení CBR

Na základě naměřených hodnot (tab. 5) závislosti síly na penetraci se vytvoří grafická závislost (obr. 1)

Tab. 5 Naměřené hodnoty CBR

<i>Penetrace [mm]</i>	<i>Síla [kN]</i>	<i>Penetrace [mm]</i>	<i>Síla [kN]</i>
0,0	0,0	5,5	10,2
0,5	4,0	6,0	10,6
1,0	5,4	6,5	10,9
1,5	6,4	7,0	11,2
2,0	7,1	7,5	11,5
2,5	7,7	8,0	11,9
3,0	8,2	8,5	12,2
3,5	8,6	9,0	12,5
4,0	9,1	9,5	12,8
4,5	9,5	10,0	13,1
5,0	9,8		



Obr. 1 Grafické vykreslení závislosti síly na penetraci trnu

V grafickém vykreslení závislosti síly na penetraci lze pozorovat dvě reprezentativní křivky:

- křivka č. 1 je vykreslena na základě naměřených hodnot viz. tab. 5 – jedná se o standardní typ křivky, je konkávní směrem k svislé ose. Pro další interpretaci výsledků není potřebná korekce.
- křivka č. 2 reprezentuje nekvalitně provedené měření, kdy na základě nekvalitně dosednutého trnu před měřením došlo ke zkreslení průběhu závislosti síly na penetraci a v počáteční části této závislosti lze pozorovat konvexní zakřivení (směrem k svislé ose). Tyto výsledky měření je nutné podrobit korekci.

Korekci křivky č. 2 lze provést podle následujícího postupu:

- nalezení inflexního bodu „i“ – bod kde se zakřivení mění z konvexního na konkávní,
- zakreslení tečny k opravované křivce procházející inflexním bodem,
- průsečík tečny s horizontální osou určí opravu penetrace Δp ,
- měřítko penetrace se posune směrem doprava o vzdálenost Δp ,
- maximální hodnota $\Delta p = 2,5$ mm i v případě, že po korekci vyjde $\Delta p > 2,5$ mm.

Výpočet CBR pro křivku č. 1:

- síla odpovídající penetraci trnu do hloubky 2,5 mm: 7,7 kN,
- síla odpovídající penetraci trnu do hloubky 5,0 mm: 9,8 kN.

$$CBR_{2,5mm} = \frac{F}{F_s} \cdot 100 = \frac{7,7}{13,2} \cdot 100 = 58,3 \approx 60\%,$$

$$CBR_{5mm} = \frac{F}{F_s} \cdot 100 = \frac{9,8}{20} \cdot 100 = 49 \approx 50\%,$$

Výpočet CBR pro křivku č. 2:

- oprava penetrace $\Delta p = 1,4$ mm,
- síla odpovídající penetraci trnu do hloubky $2,5\text{mm} + \Delta p = 2,5 + 1,4 = 3,9$ mm: 7,3 kN,
- síla odpovídající penetraci trnu do hloubky $5,0\text{mm} + \Delta p = 5,0 + 1,4 = 6,4$ mm: 9,5 kN,

$$CBR_{2,5mm} = \frac{F}{F_s} \cdot 100 = \frac{7,3}{13,2} \cdot 100 = 55,3 \approx 55\%,$$

$$CBR_{5mm} = \frac{F}{F_s} \cdot 100 = \frac{9,5}{20} \cdot 100 = 47,5 \approx 45\%,$$

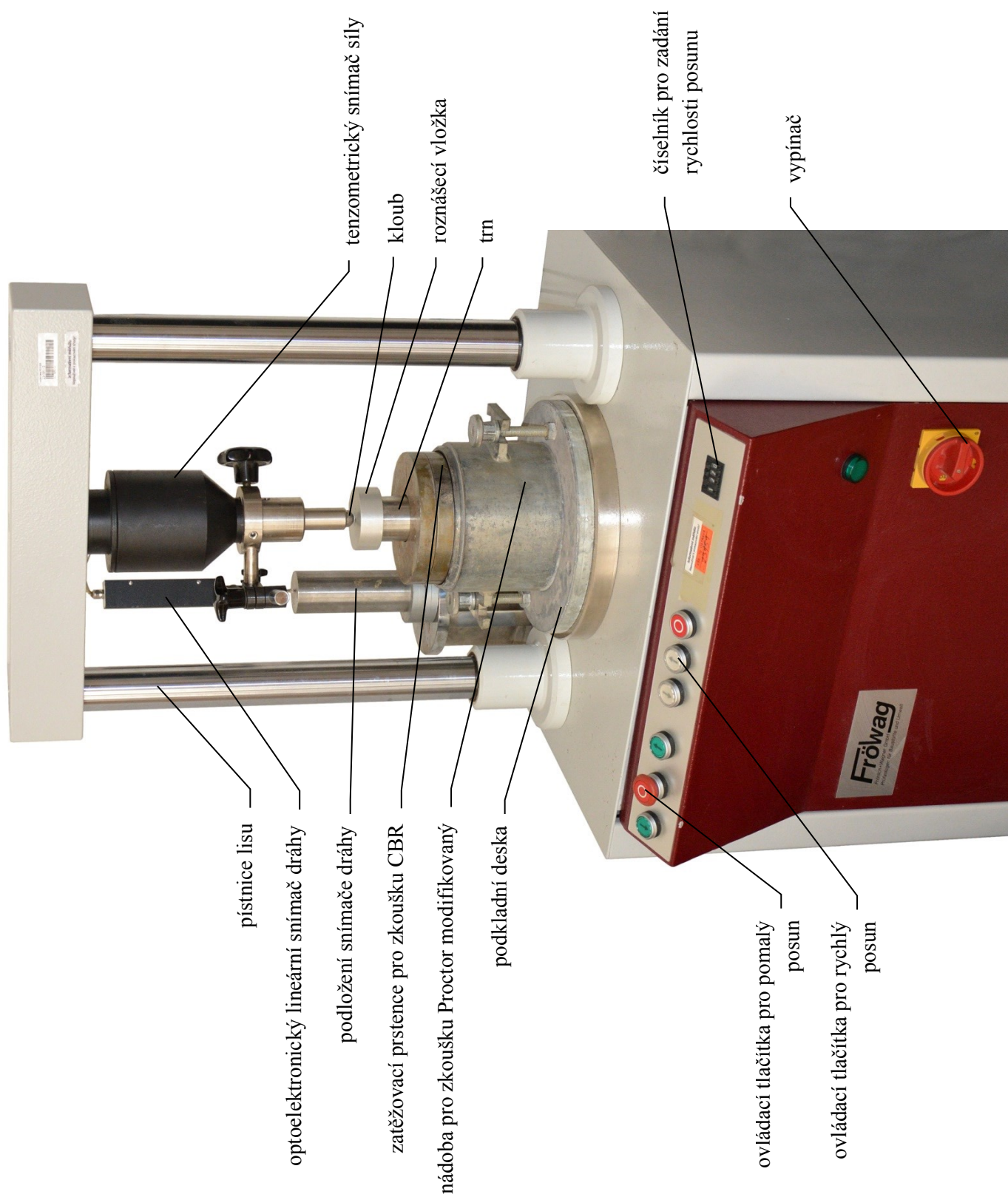
Tab. 6 Pravidlo pro zaokrouhlování CBR / IBI [1]

<i>Interval výsledků CBR / IBI</i>	<i>Zaokrouhlení [%]</i>
0 - 9	0,5
10 - 29	1
> 29	5

REFERENCE

- [1] ČSN EN 13286-47 (736185) *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání*. ICS 93.080.20, Praha: ÚNMZ, listopad 2012.
- [2] ČSN EN 13286-2 (73 6185) *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - Proctorova zkouška*. ICS 93.080.20, Praha: ÚNMZ, březen 2011.
- [3] TP 170 *Navrhování vozovek pozemních komunikací*. Ministerstvo dopravy České republiky, listopad 2004.

Příloha č. 1 Schéma měřicího zařízení pro zkoušky CBR (IBI)



Příloha č. 2 Formulář pro záznam naměřených hodnot

Záznamy naměřených hodnot a výsledků zkoušky CBR						
Zhotovitel:			Číslo zakázky:		Příloha:	
Objednavatel / název projektu:						
Kalifornský poměr únosnosti			Datum:			
Lokalita:			Datum:			
Lab. č. vzorku:			Doba zrání:			
Typ materiálu:			Doba zrání:			
m _{váženka} :			m _{váženka} + suchá zemina:			
m _{váženka} + vlhká zemina:			Vlhkost zeminy w:			
Proctorova forma:			Výška:			
Hmotnost:			Průměr:			
Hmotnost se zeminou:			Objem zeminy:			
Hmotnost zeminy:			Objem. hmotnost suché zeminy:			
Penetrace [mm]	Standardní síla [kN]	Zkouška č. 1		Zkouška č. 2		Průměr CBR [%]
		Síla [kN]	CBR [%]	Síla [kN]	CBR [%]	
0,5						
1,0						
1,5						
2,0						
2,5	13,2					
3,0						
3,5						
4,0						
4,5						
5,0		20,0				
5,5						
6,0						
6,5						
7,0						
7,5						
8,0						
8,5						
9,0						
9,5						
10,0						
Poznámky:						
Jméno a podpis odpovědného technika:						