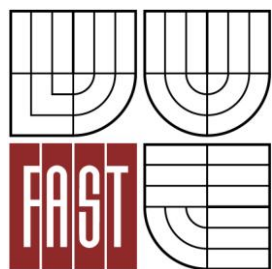




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

DYNAMICKÝ KUŽELOVÝ PENETROMETR PRO KONTROLU ZHUTNĚNÍ PODLOŽÍ VOZOVEK

THE DYNAMIC CONE PENETROMETER FOR COMPACTION CONTROL OF THE PAVEMENT
SUBGRADE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Tomáš Krajčovic

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tomáš Krajčovic
Název	Dynamický kuželový penetrometr pro kontrolu zhutnění podloží vozovek
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce	24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Výzkumné zprávy z let 2000 až 2010

internetové odkazy na www.stranky s informacemi o využití DCP

sborníky zahraničních konferencí s popisem použití DCP při kontrole zhutnění technologických vrstev násypů pozemních komunikací.

Zásady pro vypracování

Základem práce je zpracování rešerše zaměřené na využití dynamického kuželového penetrometru používaného na kontrolu míry zhutnění podloží vozovky z jemnozrnné zeminy. V praktické části je hlavním cílem práce sledovat závislost dynamické penetrace na zhutnitelnosti směsi jemnozrnné zeminy.

Předepsané přílohy

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Teoretická část
4. Praktická část
5. Zhodnocení práce
6. Závěr
7. Literatura

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....
Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt v českém jazyce:

Základem práce je zpracování rešerše zaměřené na využití dynamického kuželového penetrometru používaného na kontrolu míry zhutnění podloží vozovky z jemnozrnné zeminy. V praktické části je hlavním cílem práce sledovat závislost dynamické penetrace na zhutnitelnosti směsi jemnozrnné zeminy.

Abstrakt v anglickém jazyce:

The basis of this piece is focused on a literature review, describing the use of the dynamic cone penetrometer, used to control the compaction degree of the subsoil road, consisting of fine-grained soil. The practical part focuses on its main goal, which is to observe the dependence of dynamic penetration on the compactibility of the fine-grained soil mixture.

Klíčová slova v českém jazyce:

Dynamický kuželový penetrometr
Kalifornský poměr únosnosti
Pozemní komunikace
Jemnozrnné zeminy

Klíčová slova v anglickém jazyce:

Dynamic cone penetrometer
California Bearing Ratio
Road structures
Fine-grained soil

Bibliografická citace VŠKP:

KRAJČOVIC, Tomáš. *Dynamický kuželový penetrometr pro zhutnění podloží vozovek: Bakalářská práce*. Brno 2013. 59 str., 6 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....
podpis autora

OBSAH:

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE	9
2. TEORETICKÁ ČÁST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	10
3. DYNAMICKÝ KUŽELOVÝ PENETROMETR	11
3.1 Vývoj DCP	11
3.2 Popis zkušebních metod	12
3.2.1 DCP - Dynamický kuželový penetrometr	12
3.2.2 Schéma dynamického kuželového penetrometru	12
3.2.3 Příklady použití DCP penetrometru	13
3.2.4 Provádění zkoušky DCP	15
3.3 Zvláštní aspekty	18
3.3.1 Možné aplikace výsledků DCP	19
3.4 Soupravy DCP v sestavě	20
4. KALIFORNSKÝ POMĚR ÚNOSNOSTI	23
4.1 CBR - Kalifornský poměr únosnosti	23
4.1.1 Příprava vzorku	24
4.1.2 Provedení zkoušky	24
4.1.3 Příklady použití	25
5. OKAMŽITÝ INDEX ÚNOSNOSTI	26
5.1 IBI - Okamžitý index únosnosti	26
5.1.1 Požadavky na CBR a IBI	27
5.1.2 Provedení zkoušky bez zatěžovacího prstence	27
5.2 Důvody proč zlepšovat zeminy	28
5.2.1 Zlepšení zeminy pomocí vápna	28
6. STATICKÁ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKA	30
6.1 Popis zkušebního zařízení	30
6.2 Typ zařízení: ECM-Static	32
6.2.1 Technické parametry zařízení	33
6.3 Provádění zkoušky	34
6.4 Vztahy pro výpočet statické zatěžovací zkoušky	34
6.4.1 Korelace mezi DCP a statickou zatěžovací zkouškou	34
6.5 Porovnání statické zatěžovací zkoušky a DCP	36
7. RÁZOVÁ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKA	37
7.1 Princip rázové zatěžovací zkoušky	37
7.2 Popis zkušebního zařízení	38
7.2.1 Technické parametry zařízení	39
7.3 Využitelnost zkoušky	39
7.4 Výhody	39
7.5 Použití	39
7.6 Vztahy pro výpočet rázové zatěžovací zkoušky	40

7.6.1 Korelace mezi DCP a rázovou zatěžovací zkouškou		40
7.7 Porovnání rázové zatěžovací zkoušky a DCP		41
8. PRAKTICKÁ ČÁST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE		42
9. ZÁVĚR		50
10. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ		51
11. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ		52
12. SEZNAM OBRÁZKŮ		53
13. SEZNAM PŘÍLOH		53

1. Úvod a cíl práce

V Bakalářské práci se zabývám zkouškou dynamického kuželového penetrometru. Zkoumám zaražení hrotu do zhutněné jemnozrnné zeminy, která se používá jako podkladní vrstva v podloží pozemních komunikací. Zemina je rozdělena na 3 vzorky o stejné hmotnosti, z nichž dva vzorky zeminy jsem zlepšil přidáním pojiva. Vpichy jsou prováděny po určité časové období, v mém případě po 7 a 14 dnech. Úkolem je zjistit, zda po přidání pojiva bude zemina únosnější. Dále pak provedení zkoušky CBR.

2. Teoretická část bakalářské práce

3. Dynamický kuželový Penetrometr

3.1 Vývoj DCP

Němec Nicholas Goldman byl prvním, který přístroj podobný DCP (Dynamic cone penetrometer v překladu dynamický kuželový penetrometr) použil, jednalo se o zařízení "Ram penetrometr". V polovině 20. století se provedly další vývoje zařízení. Jedním z nich byl Kunzel, který pocházel z Německa. Dalším zlepšení přístroje přišlo o několik let později. Standardizování přístroje přišlo v roce 1964, jeho název byl "Lift penetrometer" [4].

Přístroj se začal používat a rozšiřovat i do ostatních zemích. Současná podoba dynamického kuželového penetrometru byla navržena a používána na Africkém kontinentě v Jihoafrické Republice (JAR). Dynamický kuželový penetrometr byl známý pod názvem „Portable pavement dynamic cone penetrometer“. V Jihoafrické Republice se dynamický kuželový penetrometr používal pro účely pozemních komunikací (prováděly se zkoušky a průzkumy kvality provádění podkladních vrstev a podloží pozemních komunikací). Zařízení se začínalo rozšiřovat i do Spojených států Amerických. Jednoduchá a rychlá zkouška je ve Spojených Státech Amerických běžně používána v silničním stavitelství, případně při kontrolách kvality jak rostlého podloží tak i sypaniny [2].

Především je zde užívána řada zavedených korelací na vlastnosti podloží a podkladních vrstev pozemních komunikací. Zde se zařízení používá pro rychlé orientační určení neodvodněné smykové pevnosti a především je často používán místo polního stanovení CBR (Kalifornský poměr únosnosti).

V Československé Republice nebylo zařízení zprvu používáno. Na konci 80. let se ale začalo zařízení používat, když se jednalo o málo známou dynamickou penetraci. Zařízení se používalo pro účely pozemních komunikací [2].

Možné využití přístroje DCP může být po provedení jádrového vývrtu z krytu vozovky (především z asfaltových krytů vozovek). Zkoušená penetrace je prováděna v otvoru po vývrtu. Stanovuje se únosnost podkladní vrstvy stávající vozovky.

Pro kontrolu míry zhutnění jednotlivých technologických vrstev násypu, především pokud jde o zlepšené jemnozrnné zemin (např. CaO páleným vápnem), je penetrace DCP nejčastěji používána. Dále se dá určovat hloubka zlepšené zeminy v podloží vrstvách vývrtu a také její kvalita nebo kontrolovat hloubku zpevnění zlepšené vrstvy zeminy [4].

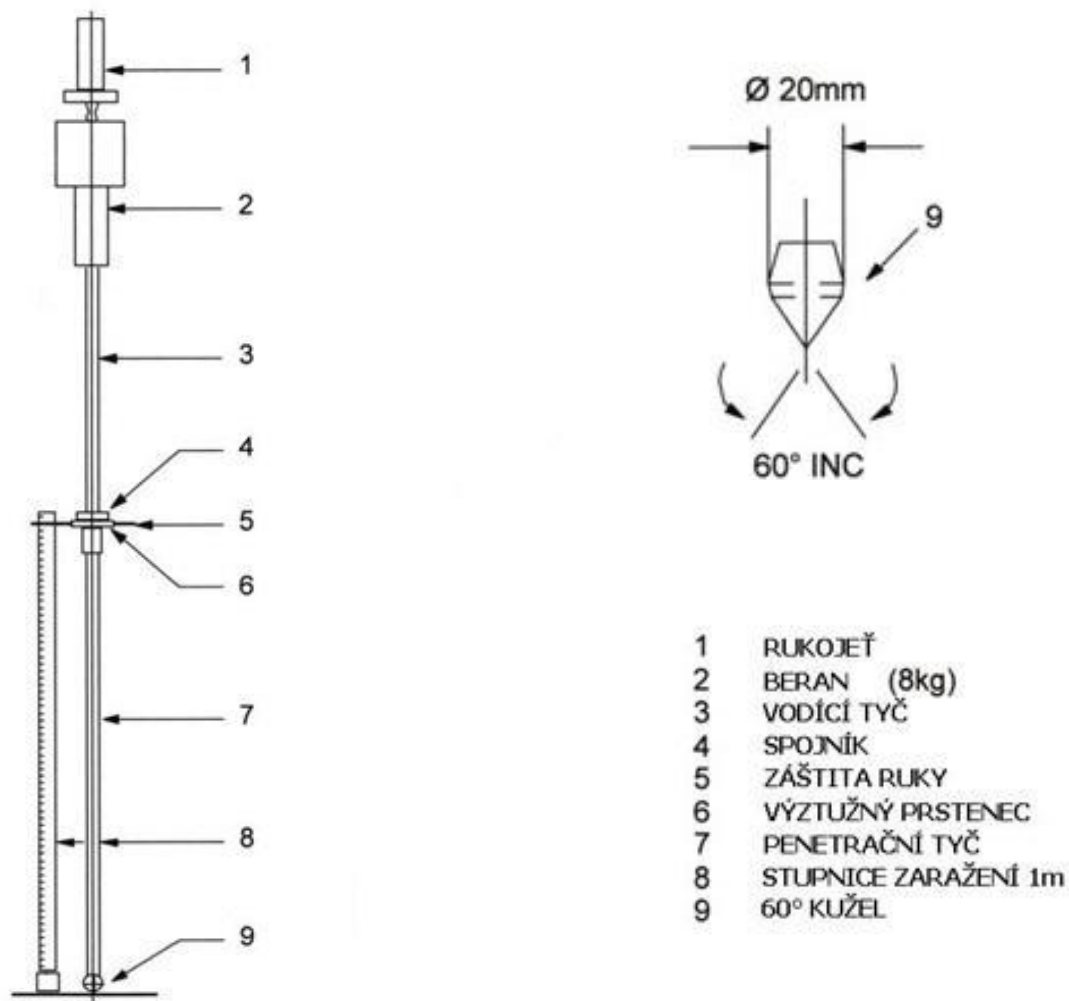
Mezi hlavní přednosti těchto zkoušek patří rychlost a jednoduchost. Zavádí se korelace na vlastnostech podloží a podkladních vrstev. Existuje závislost mezi dynamickým kuželovým penetrometrem a kalifornským poměrem únosnosti. Použitím dynamického kuželového penetrometru se naměří hloubka penetrace a tu je nutno korelovat na hodnotu kalifornského poměru únosnosti.

3.2 Popis zkušebních metod:

3.2.1 DCP - Dynamický kuželový penetrometr

Přístroj se skládá z následujících částí: rukojeť, beran, vodící tyč, spojník, záštita ruky, výztužný prstenec, penetrační tyč, stupnice zařízení, kužel. Vodící a penetrační tyč je spojena spojníkem. Horní vodící tyč je opatřena beranem a rukojetí. Spodní penetrační tyč je opatřena 60° kuželem, který má průměr 20 mm a plochu 3,14 cm². Dále je penetrační tyč opatřena záštitou ruky a vyztuženým prstencem, popřípadě také čtecí stupnicí. Beran o vlastní váze 8 kg padá z normované výšky 575 mm [1]. Všechny části, z kterých se dynamický kuželový penetrometr skládá jsou z protikorozního materiálu, jedinou součástí zařízení, který není z protikorozního materiálu je beran. Součástí přístroje je také čtecí stupnice, vzhledem k pracovišti a potřeby pracovníka, může být stupnice připojena, ale taky nemusí.

3.2.2 Schéma dynamického kuželového penetrometru:



Obrázek 1. Schéma dynamického kuželového penetrometru [2]

3.2.3 Příklady použití DCP penetrometru:

- U jemnozrnných, hrubozrnných a zlepšených zemin k odhadu pevnostních charakteristik
- Průzkum podloží pozemních komunikací a podkladních vrstev
- Průzkum a diagnostika u podkladních vrstev pozemních komunikací
- Stanovení hloubky zpevnění zlepšených vrstev
- Kontrola míry zhutnění celého profilu výkopů a zásypů rýh pro inženýrské sítě
- Kontrola míry zhutnění jednotlivých technologických vrstev násypu
- Identifikace a detekce oslabených vrstev s nižší mírou zhutnění
- Identifikace hranic vrstev zemin a vrstev s různou mírou zhutnění [1]

Dynamický kuželový penetrometr (DCP) je zkušební přístroj používaný v terénu a to zejména při ověřování kvality zhutnění sypanin a rostlého podloží, průzkumu podkladních vrstev a podloží pozemních komunikací, detekci oslabených vrstev a stanovení hranic vrstev s různou mírou zhutnění. DCP penetrometr je zařazen do skupiny zařízení, které jsou typu QA (QUALITY ASSURANCE v překladu Ujištění kvality) a je proto vhodný pro ověření kvality zhutnění v celém profilu (na rozdíl od zařízení typu QC - QUALITY CONTROL, která se používají pro ověření míry zhutnění po jednotlivých vrstvách během hutnění a navážení vrstev).

K použití jsou různé řady zavedených korelací (nejznámější z nich je laboratorní zkouška CBR - Kalifornský poměr únosnosti, dále pak únosnost podloží, apod.), které je však třeba brát pouze jako orientační. Pro získání co nejvěrohodnějších výsledků je potřeba klást důraz na vhodně provedenou kalibraci. Tato kalibrace musí být provedena pro daný materiál při dané vlhkosti. Metoda není vhodná pro vysoce stabilizované a zcementované materiály nebo pro hrubozrnné zeminy o zrnech >50mm [5]. Vhodným materiálem jsou jemnozrnné zeminy.

Jednou z častých příčin vzniku propadlin ve vozovkách a chodnicích pozemních komunikací bývá nedostatečná kvalita zhutnění. Rozsah kontrolních zkoušek při provádění zásypů inženýrských sítí ve vozovkách a chodnicích stanovuje Ministerstvo dopravy TP 146 (Povolování a provádění výkopů a zásypů rýh inženýrské sítě ve vozovkách pozemních komunikací). TP jsou zaměřeny na základní technické požadavky na materiály, přicházející v úvahu jako vhodné pro použití do zásypů, na doporučené způsoby jejich přípravy a zpracování a na konečné úpravy konstrukce vozovky. V závislosti na rozsahu zemních prací a význam rýhy jsou stanoveny kategorie kontroly, které určují rozsah kontrolních zkoušek [5].

Přesto je možno se často setkávat s případy, kdy kontrolní zkoušky jsou provedeny pouze v horní vrstvě. Při hodnocení kvality hutnění bývá přeceňován hloubkový dosah účinků běžně používaných kontrolních zkoušek. Pokud jsou např. běžně používané statické nebo rázové zatěžovací zkoušky (desky o průměru 300 a 357 mm) prováděny pouze na povrchu, vystihují stav do hloubky cca 30 až 50 cm a nemohou postihnout zhutněná místa a polohy s nízkou kvalitou hutnění ve spodních vrstvách obsypu a zásypu [4].

Standardním dosahem penetrometru DCP je hloubka 1 metr. K provedení zkoušky v hloubce 1 metru postačí jedna penetrační tyč. Hloubka do 1 metru je dostatečná pro ověření kvality podkladních vrstev a podložích běžné pozemní komunikace. Maximální hloubkový dosah penetrometru DCP je 3 metry. K dosažení hloubky je potřeba, aby se penetrometr DCP skládal ze 3 penetračních tyčí. U konstrukčně náročnějších komunikací a pro případy odborné nasazení se používá DPL. Rozdílné parametry mezi typem penetrace DPL a typem penetrace DCP jsou: Hmotnost beranu u typu penetrace DPL je 10 kg (DCP 8 kg), výška pádu beranu je 500 mm o 75 mm menší než o DCP. Liší se také úhle hrotu kužele, který je 90°, průměr hrotu kužele jenž je 37,7 mm a plocha hrotu kužele, která je 10 cm² [1].

Srovnání parametrů dynamických penetrací DPL a DCP [2]

Typ penetrace	Hmotnost beranu [kg]	Výška pádu beranu [mm]	Úhel hrotu (kužele) [°]	Průměr hrotu (kužele) [mm]	Plocha hrotu (kužele) [cm ²]
DPL	10	500	90	37,7	10
DCP	8	575	60	20	3,14

Provedení zkoušky ve venkovních podmínkách na pracovním prostředí je jednoduché. K provedení zkoušky jsou potřební 2 lidé, z nichž jeden provádí samotnou zkoušku tím, že drží přístroj za rukojeť a pomocí beranu zatlačuje penetrační tyč do zkoušené zeminy a druhý odečítá ze stupnice naměřené hodnoty, na stupnici jsou různé druhy délkových jednotek. Zkoušku může provádět i jedna osoba, je to trochu náročnější protože musí držet samotný přístroj a k tomu ještě zapisovat. Vzhledem k jednoduchému transportu je také vhodný do míst s obtížným přístupem.

3.2.4 Provádění zkoušky DCP:

- Před začátkem samotné zkoušky vyndáme přístroj z přepravního obalu, který chrání samotný přístroj a umožňuje snadnou manipulaci.



Obrázek 2. Přepravní obal DCP [5]

- Po sestavení přístroje si vybereme, který z kuželových hrotů použijeme. Máme na výběr ze dvou hrotů a to jednorázový a standardní. Jednorázový kužel je určen pro použití v zemině, kde lze jen stěží vyjmout standardní kužel, montáž se provádí na adaptér. Na závěr zkoušky sklouzne jednorázový kužel z adaptéru a zůstane v zemině, pak lze DCP penetrometr snadno vytáhnout ze zeminy [3]. Použití jednorázového kužele přibližně zdvojnásobuje počet zkoušek, které lze provést zkoušenými osobami v den měření. Tím se i zkoušky prodraží, protože musíme dokoupit kužele. Pro standardní kužel se používá speciální zvedák, který přístroj ze zeminy vytáhne. Nesmíme taky zapomenout zkontrolovat, zda není kužel nějak narušený, např. zda není kužel uhnutý nebo příliš tupý.

- Jednorázový a standardní kužel



Obrázek 3. Jednorázový a standardní kužel

- Penetrace zkoušeného místa začne osazením penetračního kužele. Nejšířší část penetračního kužele musí být pod povrchem zkoušeného místa, pomůžeme si beranem, bod se označí jako počáteční penetrace.
- Spouštění beranu z výšky 575 mm, který zatlačuje penetrační tyč s kuželem do zkoušeného místa. Počet úderů beranem opakujeme do té doby, než dosáhneme potřebné hloubky nebo do té doby, než-li se zarazí penetrační tyč s kuželem [3].



Obrázek 4. Spouštění beranu [4]

- Provádění zkoušky, kdy jedna osoba drží přístroj za držadlo ve svislé rovině a druhá osoba zkontroluje zařízení pro nulové čtení potom zapisuje hodnoty proniknutí penetrační tyče do zkoušeného místa. Hodnoty odečítá ze svislého měřidla mezi povrchem půdy a spodní částí beranu. Důraz by měl být při zvedání beranu, aby se dotkl spodní části držadla, ale aby nedošlo k povytažení penetrační tyče nebo jednorázového penetračního kužele. Beranu musí být umožněn volný pád, nesmí být ovlivněn pohybem ruky. Provozovatel musí dát pozor na to, aby udržel držadlo po pádu beranu. Oba provozovatelé by měli sledovat počet úderů beranem mezi jednotlivými měřeními, počet úderů beranem se liší v závislosti na typu půdy. Penetrační měření bývají zaznamenávány s přesností na 5 mm. Kužel musí proniknout minimálně 25 mm mezi zaznamenanými měřeními. Provozovatelé by měli dávat pozor na náhle rozšíření penetrace v měření, zvýšená penetrace naznačuje slabší vrstvu půdy.



Obrázek 5. Provádění zkoušky DCP

- Po konci měření musí dbát na to, aby jsme při vytahování neohnuli penetrační tyč. Vytahování by se mělo provádět ve svislé rovině [3].
- Důležitá je taky údržba jednotlivých částí přístroje, po každém každé zkoušce by měli být jednotlivé části očištěny od zeminy, především u penetrační tyče a penetračního kužele. Tyč na spouštění kladiva by měla být mazána mazadly nebo olejem před každým použitím [2].
- Všechny spoje by měly být pod dozorem, uvolněné spoje vedou k selhání zkoušky.

- Vytažení penetrační tyče se standardním kuželem pomocí přístroje ze zeminy.



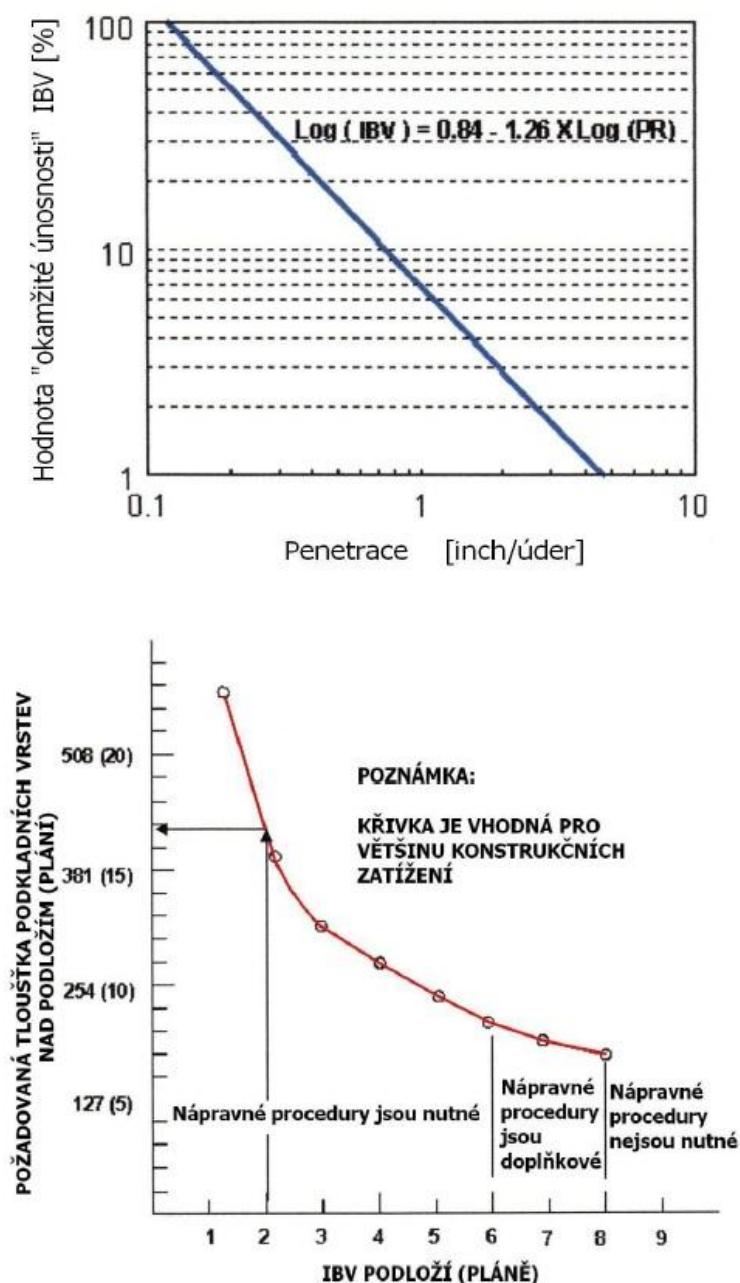
Obrázek 6. Vytahování penetrační tyče [3]

3.3 Zvláštní aspekty:

- Počasí - Naměřené výsledky jsou platné bezprostředně po provedení zkoušky. Obvyklým předpokladem je, že je zkouška konstantní pokud nezačne pršet. Štěrkovitý povrch je mnohem méně ovlivněn deštěm než například jílovité s písčité zeminy [4].
- Jílovité půdy - Zkoušky penetrace DCP je obecně přesnější do hloubky cca 12 cm. V hlubších hloubkách může jíl lepit, laboratorní zkoušky CBR jsou větší než skutečné naměřené hodnoty. Olejováním penetrační tyče zabrání lepení a docílíme přesnějších výsledků [3].
- Písky - Mnoho písků se vyskytuje ve volném stavu. Pokud je relativně sucho, písky nevykazují žádné DCP hodnoty. Je třeba se vyhnout všem pískům i štěrům, kde se skrze ně voda rychle prosakuje [4].
- Pokud penetrační kužel neproniká 25 mm za 10 ran měla by se zkouška zastavit.

3.3.1 Možné aplikace výsledků DCP:

Provádění vyčíslení výsledků penetrace DCP se provádí tzv. okamžitou únosností IBV (Immediate Bearing Value). Touto hodnotou se navrhují tloušťky podkladní vrstvy pozemní komunikace a může sloužit k návrhu opravy podloží pozemní komunikace [2].



Obrázek 7. Aplikace výsledků [2]

3.4 Soupravy DCP v sestavě:



- typ Standard K-100
- cena 1,895.70 US \$

Obrázek 8. Typ Standard K-100 [12]



- typ Deluxe K-100
- cena 2,610.86 US \$

Obrázek 9. Typ Deluxe K-100 [12]



- typ International K-100
- cena 1,493.00 US \$

Obrázek 10. Typ International K-100 [12]



- typ Economy K-100
- cena 1,199.52 US \$

Obrázek 11. Typ Economy K-100 [12]



- typ přístroje KESSLER MR 100
- nejnovější
- vybaven magnetickým měřidlem
- cena 2,750.00 US \$

Obrázek 12. Typ KEAALER MR100 [12]

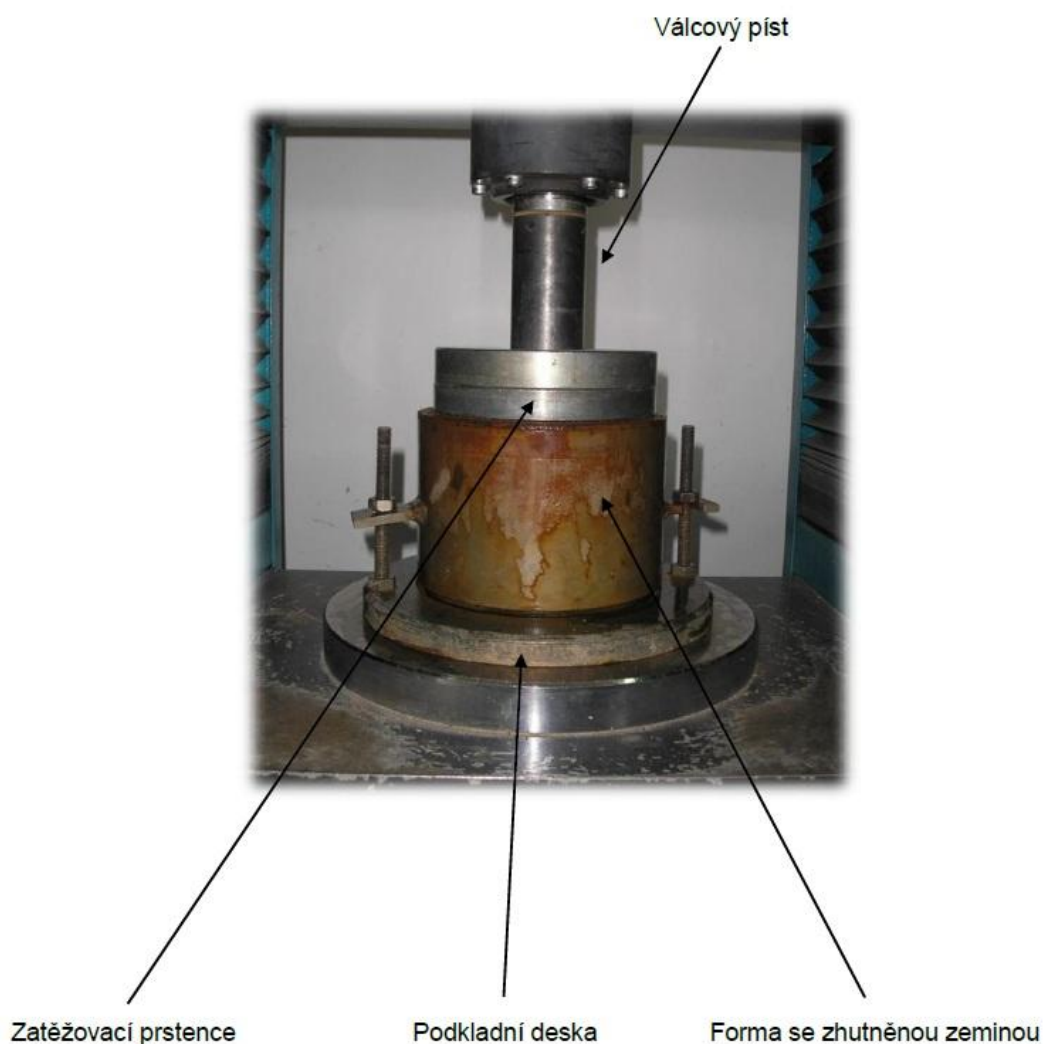
Zdroj [12]

4. Kalifornský poměr únosnosti

4.1 CBR - Kalifornský poměr únosnosti

CBR (California Bearing Ratio) měří odpor zeminy nebo zkoušeného materiálu proti penetraci (průniku předepsaného kovového trnu (válcový píst) určitou rychlostí do zkušebního vzorku zeminy). Pevnost se vyjadřuje v procentech odporu při penetraci trnu do normovaného materiálu. Jedná se o porovnávací metodu. Je to index pro stanovení charakteristik únosnosti směsi. Obvykle se provádí společně se zkouškou zhutnitelnosti Proctor, případně také na neporušeném vzorku zeminy. Minimální množství vzorku 10 - 30 kg.

V silničním stavitelství se touto veličinou popisuje únosnost zeminy. Zkouška se provádí laboratorně podle normy ČSN EN 13 286-47 (Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 47: Zkušební metody pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání) [7].



Obrázek 13. Schéma laboratorní zkoušky CBR

4.1.1 Příprava vzorku:

Vzorek zeminy musí být optimálně vlhký nebo mít považovanou vlhkost. Vzorek zeminy se nahutní do Proctorovy formy (forma B o průměru 150 mm) může být použit i normovaný moždíř o průměru 152 mm a výšce 178 mm, na který je namontovaný prodlužovací nástavec. Hutnění probíhá v 5 vrstvách, každá vrstva se hutní 56 údery hutnicím pěchem o váze 2,50 kg a výškou dopadu 305 mm. Po zhutnění se odebere prodlužovací nástavec a přebytečná zemina se seřízne do vodorovné roviny s horním okrajem formy. Pokud se při seříznutí vytvoří na povrchu díry nebo vzniknou nerovnosti, potom se vyplní odříznutou zeminou. Vzorek se následně uschová do igelitového pytle aby si zachoval vlhkost a po požadované době zrání je připraven ke zkoušce [8].

Pro zkoušku CBR může být požadováno zrání vzorku jedním z následujících způsobů:

- a) stav, kdy se zabrání odpařování vody (klimatizační komora, vosk, umístění na formu a utěsnění, jiný postup)
- b) stav úplného nasycení vzorku
- c) stav, kdy se zabrání odpařování po nasycení vzorku

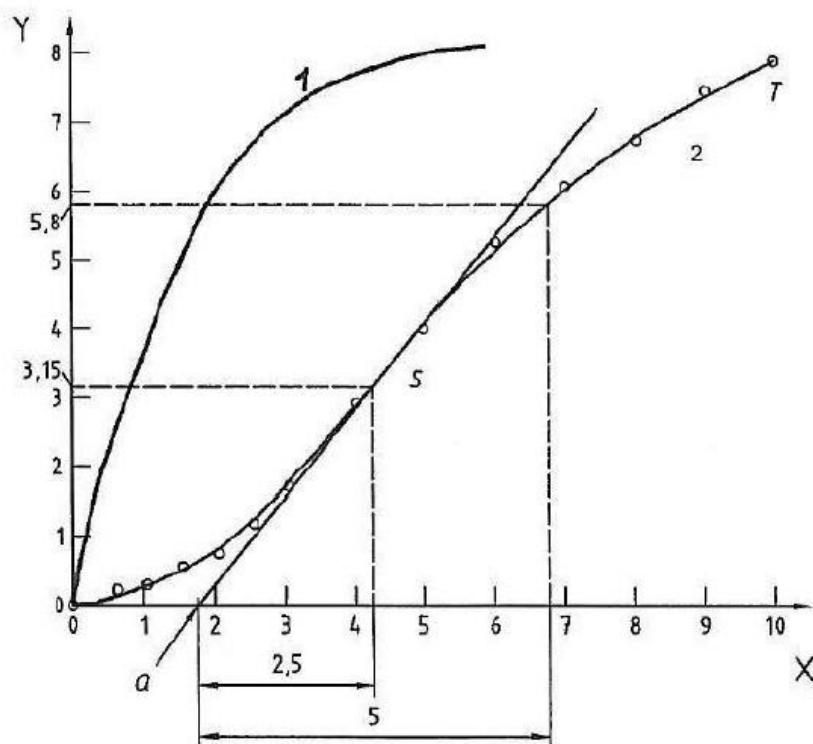
U neupravené zeminy se provádí saturace 4 dny pod vodou

U upravené zeminy zrání 3 dny a saturace 4 dny pod vodou

4.1.2 Provedení zkoušky:

Vzorek i s formou se dále vloží do zatěžovacího přístroje. Na horní povrch vzorku umístíme zatěžovací prstenec s dírou uprostřed pro zatěžovací trn, tím se zabrání zvedání materiálu (minimální hmotnost prstence je 4,50 kg), následně se uloží další prstence. Průměr zatěžovacího trnu standardního průřezu je $50 \pm 0,5$ mm. Do vzorku zeminy je zatěžovací trn zatlačován konstantní silou $1,27 \pm 0,2$ mm za minutu. Z důvodu zajištění kontaktu zatěžovacího trnu se zeminou se provede počáteční přitížení trnu. Zaznamenaná se nulové čtení a následně se zaznamenávají hodnoty síly po penetračních přírůstcích 0,5 mm až do penetrace 10 mm. Srovnávací hodnoty jsou na úrovni 2,5 a 5,0 mm. Velikost srovnávacích sil je 13,2 kN a 20 kN. Výsledek se vyjadřuje v procentech [8].

Z penetrační křivky se přečtou síly v kN odpovídající penetraci 2,5 a 5 mm a tyto se vyjádří v procentech standardních sil podle tabulky. Hodnoty síly se vynesou na osu y v závislosti na penetraci na ose x, následně se tyto body proloží křivkou.



Obrázek 14. Penetrační křivka [8]

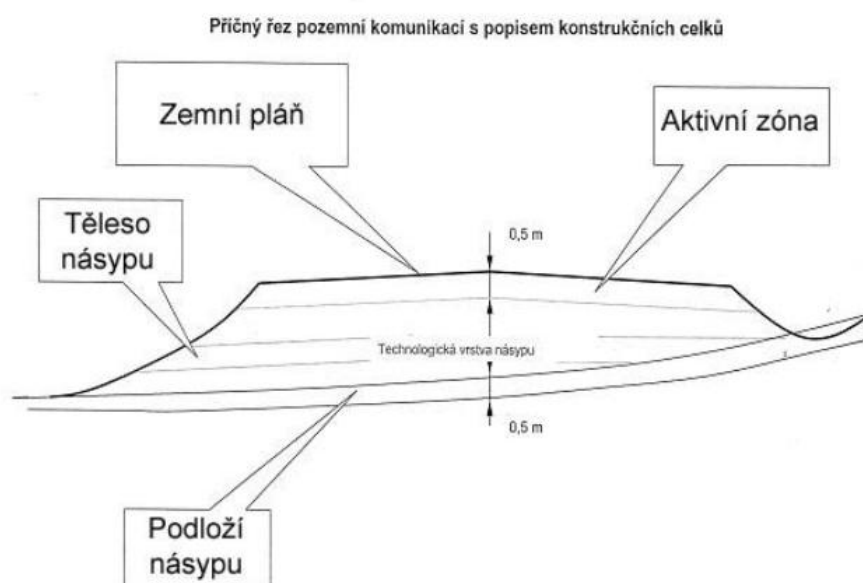
4.1.3 Příklady použití:

- Stanovení vhodnosti použití materiálu pro účely použití v silničních komunikacích, chodnicích, zásypech kanalizačních rýh apod.
- Odhad očekávaných hodnot modulu deformace E_{def2} , stanovení návrhových hodnot modulů pružnosti.

5. Okamžitý index únosnosti

5.1 IBI - Okamžitý index únosnosti:

Zkouška IBI je určena pro rychlou kontrolu únosnosti zemin nebo-li je to okamžitá hodnota CBR stanovená bez použití zatěžovacího prstence. Zkušební postup je podobný jako u CBR. Zkouška se provádí pro upravené (zlepšené) zeminy. V případě požadavků pro materiál zemního tělesa a podloží násypu je zkouška IBI využita i jako průkazní, protože není potřeba zahrnovat přísnější požadavky uplatněné pro materiály aktivní zóny, kde se jako průkazní zkouška požaduje CBR. V případě aktivní zóny se však současně se zkouškou CBR stanovuje i vztažná hodnota IBI, která je pak pro daný materiál kritériem pro zkoušku kontrolní [8].



Obrázek 15. Příčný řez pozemní komunikací [8]

Důležitým rozdílem mezi IBI a CBR je i to, že zkouška IBI se provádí ihned po zhotovení zkušebního vzorku, nezahrnuje tedy žádnou dobu zrání ani saturace. U upravených zemin trvá zkouška spolu s promícháním, zhuštění a samotnou zkouškou do 90 minut.

Okamžitý index únosnosti je popsán v normě ČSN EN 13286-47 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání [7].

5.1.1 Požadavky na CBR a IBI:

Typ zkoušek	Použití	Zeminy neupravené		Zeminy upravené	
		CBR	IBI	CBR	IBI
Průkazní	Podloží násypu	-	5 %	-	10 %
	Násyp	-	10 %	-	10 %
	Aktivní zóna	15 %	Deklarovaná hodnota	15 %	Deklarovaná hodnota
Kontrolní	Podloží násypu	-	5 %	-	10 %
	Násyp	-	10 %	-	10 %
	Aktivní zóna	-	Min. deklarovaná hodnota	-	Min. deklarovaná hodnota

Z tabulky je možno vidět široké uplatnění IBI, což má za následek výrazné zjednodušení a zefektivnění celého systému prokazování shody při budování zemního tělesa pozemních komunikací. Výjimku tvoří ztužující vrstva vrstevnatého násypu, kde se předepisuje CBR i jako zkouška kontrolní (v tab. není uvedeno) [2].

5.1.2 Provedení zkoušky bez zatěžovacího prstence:



Obrázek 16. Schéma laboratorní zkoušky IBI

5.2.1 Důvody proč zlepšovat zeminy:

- Zlepší se zpracovatelnost dané zeminy
- Výrazně lepší zhutnitelnost
- Využití i materiálů, které jsou nevhodné
- Kvalitní podklad pro konstrukci pozemní komunikace
- Zlepšení zeminy pojížděné stavebními stroji
- Snížení namrzavosti, vlhkosti zeminy a čísla plasticity
- Zvýšení poměru únosnosti a modulu přetvárnosti

5.2.2 Zlepšení zeminy pomocí vápna:

- Některé okamžité účinky přidání vápna do zeminy. Zvyšuje se mez plasticity, je snižována namrzavost dané zeminy. Zvyšují se pevnosti zeminy a kalifornského poměru únosnosti, tj. smykových parametrů a přetvárných charakteristik. Dochází k vysoušení zeminy vlivem chemického vázání vody hydratací vápna. Dochází ke změně Proctorovy křivky (křivka je více plošší, zvyšuje se tím optimální vlhkost a dochází ke snížení objemové hmotnosti) [13].
- Mezi dlouhodobé účinky patří dlouhodobá trvanlivost v nepříznivém prostředí a postupné tvrdnutí jílovitovápenatých směsí (může trvat několik měsíců až roků).
- Množství přidaného vápna v zemině 1% - 3%. Index plasticity by měl být $I_p=10\%$ a vyšší. Mezi vstupní materiály patří hašené a nehašené vápno, zemina a voda [13].
- Mezi další pojiva pro zlepšení zeminy patří cement, struska, popílek a směsná hydraulická pojiva.

V průběhu času, kdy se studovaly korelace mezi penetračním indexem PI [mm/úder] a CBR, se zjistila závislost mezi polní zkouškou CBR a penetrací DCP.

Byla stanovena závislost mezi penetračním indexem a CBR, kdy při hodnotách CBR > 10% vychází ze vzorce [2]

$$CBR[\%] = \frac{292}{PI^{1,12}}$$

Závislost mezi penetračním indexem a CBR, při hodnotách CBR < 10% se popsala jako [2]

$$CBR[\%] = \frac{1}{(0,017019PI)^2}$$

Korelace mezi DCP a CBR může být prováděna např. podle vztahu [8]

$$\log(CBR) = 2,56 - 1,16 \log(PI)$$

Důležité hodnoty pro použití zemin do konstrukčních vrstev [2]

- CBR < 15% nevhodné zeminy
- CBR > 15% vhodné zeminy do konstrukčních vrstev
- CBR > 47% nenamrzavé zeminy
- CBR > 80% nestmelené podkladní vrstvy

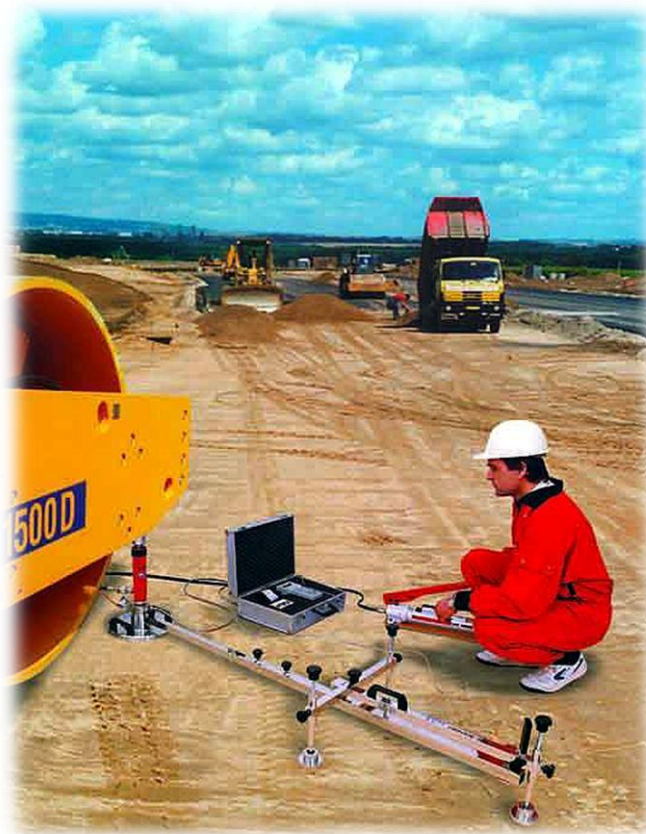
6. Statická zatěžovací zkouška

- Statickou zatěžovací zkoušku řeší norma ČSN 73 6190
- Tato norma platí pro měření statické únosnosti zemin a kameniva nestmelených nebo stmelených, uložených v zemních tělesech, podloží nebo podkladních vrstvách vozovek silničních komunikací a jiných ploch.
- Zkoušku nelze použít, pokud největší velikost zrna kameniva je větší než $\frac{1}{3}$ průměru zatěžovací desky.

6.1 Popis zkušebního zařízení

Zatěžovací zařízení :

Používá se naložené nákladní auto (popř. dvě auta, o která je opřen zatěžovací nosník) nebo trajler, popř. speciálně pro tento účel konstruovaný pojízdný zatěžovací most nebo jiné zařízení, které je schopno svou hmotností bezpečně vyvodit požadovanou reakci. Kola vozidel nebo jiné podpěry zatěžovacího zařízení (jejich nejbližší okraj) musí být vzdáleny nejméně $4d$ (d je průměr zatěžovací desky) od středu zatěžovací desky. Nevyhoví-li zatěžovací zařízení této podmínce, je třeba prokázat, že tím není ovlivněna velikost měřené deformace [9].



Obrázek 17. Statická zatěžovací zkouška

Zatěžovací deska kruhového tvaru:

Podle účelu zkoušky se použije deska velká nebo malá.

Velká deska má plochu $A = 0,5 \text{ m}^2$ a průměr $d = 798 \text{ mm}$. Použít lze též desku o ploše $A = 0,456 \text{ m}^2$ a průměru $d = 762 \text{ mm}$. Malá deska má plochu $A = 0,1 \text{ m}^2$ a průměr $d = 357 \text{ mm}$. Pokud deska nemá dostatečnou tuhost, měří se zatlačení desky v tzv. charakteristických bodech ležících na soustředné kružnici o průměru $0,74 d$ [9].

Malá deska je vyrobena z oceli nebo ocelolitiny. Pro usnadnění manipulace při osazování velké desky se doporučuje zhotovit ji z lehké slitiny (pokud se nepoužije soustava desek [11]).



Obrázek 18. Zatěžovací deska kruhového tvaru

Kulový kloub:

Umístěný na zatěžovací desce, může být také součástí přístroje. Využití pro centrické zatížení desky.

Hydraulický lis:

Musí umožňovat stupňovité zvyšování a snižování síly a její udržování bez kolísání po dobu několika minut

Měřicí nosník:

Musí být dostatečně tuhý

Siloměr:

Pro měření velikosti síly vyvozené hydraulickým lisem. Může být nahrazen nanometrem

Hodinový indikátor:

Slouží pro měření zatlačení desky svislé deformace povrchu [11]

6.2 Typ zařízení: ECM-Static

Zařízení ECM-Static je určeno pro automatizovanou kontrolu statické únosnosti zhutňovaných sypanin

Popis zařízení:

Celý postup měření je kontrolován, řízen a vyhodnocován automaticky mikropočítačovou jednotkou. Jednotka měří přímo zatěžovací sílu pomocí tenzometrického snímače síly (standardně 37kN $\pm$ 0,2 %) a zatlačení desky pomocí optoelektronického lineárního snímače dráhy (standardně 24mm $\pm$ 0,002 mm), kontroluje dodržení velikosti síly Průběh zkoušky a její vyhodnocení včetně grafu zatížení-zatlačení lze tisknout na miniaturní tiskárně. Všechny prováděné zkoušky včetně výsledků lze ukládat do zálohované paměti.

Uložená měření lze kdykoliv vytisknout na tiskárně, případně pomocí sériového kanálu přenést do počítače standardu PC a zde archivovat, dále vyhodnotit případně vytisknout. Jednotka je vybavena alfanumerickou membránovou klávesnicí s vysokou odolností a životností, která umožňuje doplnit ke každému měření tzv. tabulku dodatkových informací pro přesnou identifikaci.

Elektronická část zařízení je tvořena měřicí a řídicí jednotkou. Zatěžovací systém je hydraulický, je tvořen válcem, ručním čerpadlem a hadicí s rychlospojkou a je určen pro zatížení do 10t. Pro spojení s protiváhou a zatěžovací deskou je hydraulická část doplněna o rychloupínací koncovky, prodlužovací nástavce a magnetickou úchytka.

Zatěžovací deska má průměr 300 nebo 357 mm. Měřicí nosník je v provedení s jednobodovým snímáním zatlačení, s teleskopickým snímacím ramenem a výsuvnými a stavitelnými opěrami [11]

6.2.1 Technické parametry zařízení :

- Vyložení nosníku: 1455 mm
- Maximální hloubka zatěžovací desky pod terénem: 300 mm
- Minimální výška opěrné plochy protizátěže: 520 mm
- Jmenovitá zatěžovací síla: 35 kN
- maximální povolená síla: 65 kN
- jmenovitý zatěžovací tlak (deska 357 mm): 0,350 MPa
- maximální zatěžovací tlak (deska 357 mm): cca 0,374 MPa
- jmenovitý zatěžovací tlak (deska 300 mm): 0,500 MPa
- maximální zatěžovací tlak (deska 300 mm): cca 0,530 MPa
- maximální měřené zatlačení: 24 mm
- chyba měření tlaku: +/- (1 % + 1kPa)
- chyba měření zatlačení: +/- 0,005 mm (snímač 0,001 mm)
- provozní teplota: (0 až +45) °C [11]

6.3 Provádění zkoušky

- místo provádění zkoušky musí být rovný a zbavený nečistot.
- k vyrovnání nerovnosti povrchu se nanese řídká sádrová kaše (co nejtenčí vrstva), na kterou se položí zatěžovací kruhová deska. Následně se na desku osadí hodinkové indikátory, které jsou upevněny k měřicímu nosníku.
- přezkouší se jednotlivé funkce provedením krátkodobého zatížení, které nesmí vyvodit na zeminu tlak větší než 0,025 Mpa [9]
- počet zatížení zeminy má být nejméně 5, aby byla dostatečně přesná závislost zatížení-zatlačení.
- zatížení se provádí po stupních, mezi jednotlivými stupni má zatížení vzrůstat pozvolna.
- každou minutu se odpočítávají údaje z hodinkových indikátorů. Pokud čtení různého indikátoru je během 3 minut nejvýše 0,05 mm, tak je deformace zeminy konečná a vynese se do grafu [11]

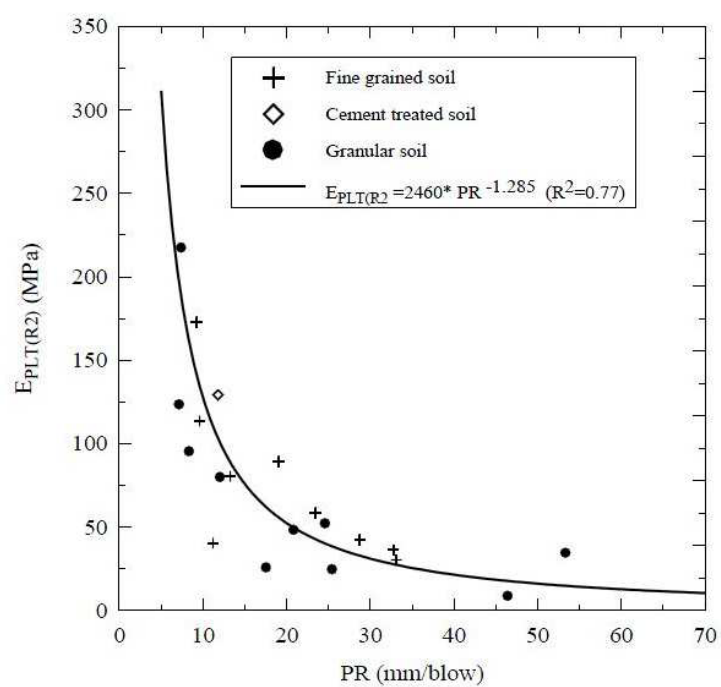
6.4 Vztahy pro výpočet statické zatěžovací zkoušky

- Statický modul pružnosti: $E = \frac{\pi}{2}(1-\mu^2)\frac{p \cdot r}{f_e}$ [Mpa]
- Statický modul deformace: $E_0 = \frac{\pi}{2}(1-\mu^2)\frac{p \cdot r}{f_{tot}}$ [Mpa]
- Modul reakce: $k = \frac{F}{A f_{tot}}$ [MN/m³] [14]

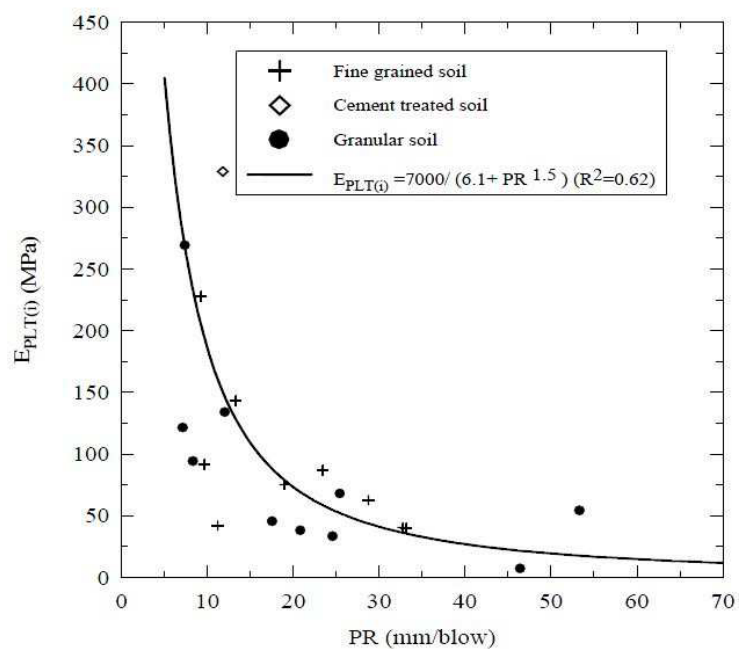
6.4.1 Korelace mezi DCP a statickou zatěžovací zkouškou

Podle vztahu $\log(E_{plt}) = (-0,88405)\log(PR) + 2,90625$ lze zpětně dopočítat modul pružnosti zrnité půdy. E_{plt} [Mpa]

- Korelační vztahy : $E_{plt(i)} = \frac{7000}{(6,1 + PR^{1,5})}$ kde PR [mm/úder]
 - $E_{plt(R2)} = 2400 PR^{-1,285}$
- [14]



Obrázek 19. Závislost mezi DCP a $E_{PLT(R2)}$ [14]



Obrázek 20. Závislost mezi DCP a $E_{PLT(i)}$ [14]

6.5 Porovnání statické zatěžovací zkoušky a DCP

V porovnání ovladatelnosti mezi statickou zatěžovací zkouškou a DCP je statická zatěžovací zkouška náročnější, protože při provádění zkoušky musí být zkušební pracovník.

Mezi měření jednotlivých vrstev má statická zatěžovací zkouška méně stabilnější výsledky.

Hloubka měření mezi statickou zatěžovací zkouškou a DCP je různá. U statické zatěžovací zkoušky je hloubka měření 1,5 až 2,0 násobek průměru desky na stlačitelných zeminách. U DCP je hloubka měření mnohem větší, může být až do hloubky 3 m.

V dnešní době se výsledky u těchto zkoušek zpracovávají podle moderních počítačových programů.

7. Rázová zatěžovací zkouška

- Rázovou zatěžovací zkoušku řeší norma ČSN 73 6192.
- Tato norma určuje základní technické parametry zařízení pro rázové zatěžovací zkoušky (dále jen rázových zařízení) a stanoví způsob zjišťování průhybů tuhých a netuhých vozovek silničních komunikací, letištních a dalších dopravních ploch, jejich vrstev a podloží rázovou zatěžovací zkouškou (dále jen rázovou zkouškou). Kromě toho určuje postupy vyhodnocení rázových zkoušek tuhých a netuhých vozovek, letištních a dalších dopravních ploch, jejich vrstev a podloží v rozsahu nevyžadujícím použití počítačových programů a výpočetní techniky. Tato norma nepředepisuje postup výpočtu odvozených hodnot používaných pro dimenzování a návrh zesílení vozovek a stanovení jejich zbytkové životnosti.
- Výsledků zkoušek se využívá v TP „Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek“, v TP „Navrhování údržby a oprav vozovek s cementobetonovým krytem“ a v ČSN 72 1006 [10]

7.1 Princip rázové zatěžovací zkoušky

- Rázová zatěžovací zkouška se provádí lehkou dynamickou deskou.
- Princip měření je založen na vybuzení rázového silového impulsu definované velikosti a délky pádem závaží dané hmotnosti z dané výšky přes tlumicí systém na zatěžovací desku, ležící na povrchu měřené vrstvy. Tento silový impuls vyvolá zatlačení desky do sypaniny. Časový průběh zatlačování je snímán snímačem a ukládán do paměti měřicí jednotky. Po provedení tří rázů je vyhodnocena průměrná hodnota velikosti zatlačení. Z této hodnoty a z definované hodnoty velikosti silového impulsu je určen tzv. dynamický modul deformace. Pro snímání zatlačení je použit akcelerometr a průběh zrychlení je vzorkován, digitalizován a převeden na průběh výchylky dvojí numerickou integrací s korekcí v měřicí jednotce. Tento postup zaručuje vysokou teplotní a časovou stabilitu měření [10].



Obrázek 21. Rázová zatěžovací zkouška

7.2 Popis zkušebního zařízení

- Zatěžovací systém je tvořen zatěžovací deskou a rázovým zařízením

Zatěžovací deska:

Je vyrobena z oceli, je osazena ocelovou pozinkovanou hlavicí s vestavěným snímačem zrychlení

Rázové zařízení:

Tvoří jej tyč z pevnostní oceli, opatřená na spodním konci pružinovým tlumícím systémem a na horním konci madlem s páčkou pro aretaci závaží v horní poloze

Tlumící systém:

Používá sadu talířových pružin pro vytvarování žádaného silového pulsu a je doplněn o válcovou hlavicí pro usazení tyče na hlavicí zatěžovací desky. Po tyči se kluzně pohybuje rázové závaží z pozinkované oceli [5]



Obrázek 22. Lehká dynamická zatěžovací deska

7.2.1 Technické parametry zařízení

- hmotnost desky: 15 kg
- hmotnost závaží: 10 kg
- pádová výška: ~ 750 mm
- silový impuls (velikost): (7,07 +/- 0,07) kN
- silový impuls (délka): (18 +/- 2) ms
- Rozsah měření zatlačení: 0,1 až 10 mm
- Rozlišení: 0,001 mm
- Chyba: max +/- 4 %
- Rozsah měření Evd: 2 až 220 MPa
- provozní teplota: (0 až +45) °C [11]

7.3 Využitelnost zkoušky

- Metoda je vhodná pro nesoudržné zeminy (písky, šterky) zrnitostní frakce do 63 mm. Dále je se používá při kontrole hutnění u vápnem zlepšených zemin. Při zkoušce je stanoven dynamický modul deformace zemin Evd v rozmezí 15-70 MN/m².
- Použití rázové zatěžovací zkoušky lehkou dynamickou deskou není možno považovat za náhradu statické zatěžovací zkoušky. Jako její vhodný doplněk umožňuje zkvalitnit rozhodovací proces pro použití statické zatěžovací zkoušky, zredukovat celkový počet prováděných statických zatěžovacích zkoušek a celkově zrychlit proces kontroly kvality zemních prací.

7.4 Výhody

- výsledky měření k dispozici ihned po zkoušce
- rychlost zkoušky, nízká cena, úspora času
- nenáročnost na čas, techniku a organizaci výstavby
- nízká hmotnost, snadná manipulace
- možnost měření v obtížně přístupných místech [5]

7.5 Použití

- dálnice, silnice, železnice
- násypy, zpětné zásypy
- zásypy kanalizací, kabelů, chodníky
- aktivní zóna komunikací
- konstrukční plán plošně zakládáných objektů
- násypy, zpětné zásypy
- zeminy zlepšované vápnem [5]

7.6 Vztahy pro výpočet rázové zatěžovací zkoušky

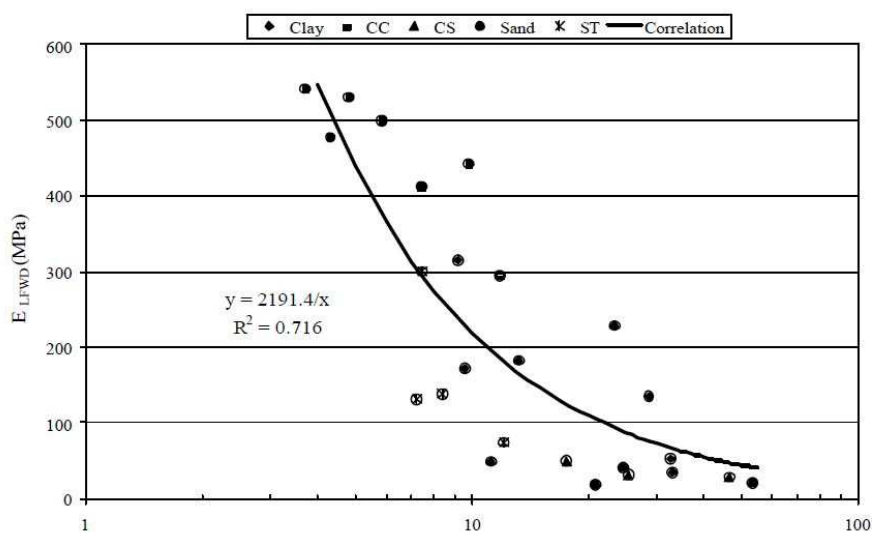
- Pro výpočet slouží rázový modul deformace a rázový modul pružnosti [14]

- modul deformace : $M_{RZ} = \frac{1,57(1-\nu^2)*a*\sigma}{y_c}$

- modul pružnosti : $E_{RZ} = \frac{1,57(1-\nu^2)*a*\sigma}{y_p}$

7.6.1 Korelace mezi DCP a rázovou zatěžovací zkouškou

$$E_{LFWD} = \frac{2191}{PR} \quad \text{kde PR [mm/úder]}$$



Obrázek 23. Vzájemná závislost mezi DCP a rázovou zatěžovací zkouškou [14]

7.7 Porovnání rázové zatěžovací zkoušky a DCP

DCP je oproti lehké dynamické zatěžovací desce snadno přenosný a lépe ovladatelný [10]

Lehká dynamická zatěžovací deska je připojena na elektroniku oproti DCP.

DCP je oproti lehké dynamické zatěžovací desce dříve používaný, lehká dynamická zatěžovací deska patří k novějším přístrojům.

Je to doplňující zkouška statické zatěžovací zkoušky.

8. Praktická část bakalářské práce

Výsledky zkoušky DCP:

Pro laboratorní zkoušku jsem si připravil 3 formy zhutněné zeminy v 5 vrstvách. Před zhutněním jsem upravil vzorky na požadovanou vlhkost. V první formě byla původní zemina o vlhkosti 15%, druhá forma se zeminou byla již upravená přidáním 1% vápna z celkové hmotnosti zeminy s vlhkostí 16% a poslední třetí forma se zeminou byla upravena přidáním 3% vápna z celkové hmotnosti zeminy a vlhkostí 17,5%. Všechny 3 vzorky byly 7 dní uschovány v plastovém pytlí, aby si uchovaly vlhkost. Následně byla provedena zkouška penetrací DCP [mm/úder]. Samotná zkouška se opakovala ještě za dalších 7 dní. Po zkoušce DCP byla provedena zkouška CBR.

Zhutnění zeminy bylo prováděno Proctor Modifikovaný, kdy se zemina hutnila hutnicím beranem v 5 vrstvách. Hutnicí beran o hmotnosti 4,5 kg byl spouštěn z výšky 457mm na každou vrstvu zvlášť, po celé ploše vrstvy. Počet úderů na každou vrstvu bylo 56.

Pro vyhodnocení se používají různé korelační vzorce pro jednotlivé typy půdy [12]:

- CBR% $\log(\text{CBR})=2,7-1,12\log(\text{PR})$ vzorec č.1 pro jílovité půdy
- CBR% $\log(\text{CBR})=2,56-1,16\log(\text{PR})$ vzorec č.2 pro jílovité zeminy a výsledky měření
- CBR% $\log(\text{CBR})=2,83-1,33\log(\text{PR})$ vzorec č.3 pro nenasáklé vzorky
- CBR% $2,92/\text{PR}^{1,12}$ vzorec č.4 pro všechny typy zemín

Výsledky naměřené zkoušky penetrací DCP po 7 dnech:

Forma č.1 ... zemina s vlhkostí 15%

Forma č.2 ... zemina s vlhkostí 16% a 1% CaO

Forma č.3 ... zemina s vlhkostí 17,5% a 3% CaO

Forma č.1 [mm]	Forma č.2 [mm]	Forma č.3 [mm]
235	235	235
308	264	245
342	290	255
	315	266
	340	275
	342	284
		292
		297
		303
		310
		318
		335
		342

forma č.1 72 mm
forma č.2 26 mm
forma č.3 9 mm

forma č.2 26 mm

forma č.3 9 mm

Tabulka výsledků pro formu č.1

Počet úderů	Penetrace [mm]	Penetrace mezi čtením [mm]	Index DCP	CBR % vzorec č.4
1	235	0	0	
2	308	73	73	2,39
3	342	34	34	5,62

Tabulka výsledků pro formu č.2

Počet úderů	Penetrace [mm]	Penetrace mezi čtením [mm]	Index DCP	CBR % vzorec č.4
1	235	0	0	
2	264	29	29	6,72
3	290	26	26	7,60
4	315	25	25	7,93
5	340	25	25	7,93
6	342	2	2	

Tabulka výsledků pro formu č.3

Počet úderů	Penetrace [mm]	Penetrace mezi čtením [mm]	Index DCP	CBR % vzorec č.4
1	235	0	0	
2	245	10	10	22,15
3	255	10	10	22,15
4	266	11	11	19,91
5	275	9	9	24,92
6	284	9	9	24,92
7	292	8	8	28,45
8	297	5	5	48,12
9	303	6	6	39,25
10	310	7	7	33,03
11	318	8	8	28,44
12	335	17	17	12,23
13	342	7	7	33,03

Výsledky naměřené zkoušky penetrací DCP po 14 dnech:

Měření se provádělo pouze s formami se zlepšenou zeminou

Forma č.2 [mm]	Forma č.3 [mm]
234	234
261	248
284	257
305	266
328	272
342	276
	283
	289
	293
	298
	305
	311
	318
	328
	335
	339
	342

Průměrná hodnota [mm/úder]

forma č.2 23 mm

forma č.3 7 mm

Tabulka výsledků pro formu č.2

Počet úderů	Penetrace [mm]	Penetrace mezi čtením [mm]	Index DCP	CBR % vzorec č.2
1	234	0	0	
2	361	27	27	7,28
3	284	23	23	8,71
4	305	21	21	9,65
5	328	23	23	8,71
6	342	14	14	15,20

Tabulka výsledků pro formu č.3

Počet úderů	Penetrace [mm]	Penetrace mezi čtením [mm]	Index DCP	CBR % vzorec č.4
1	234	0	0	
2	248	14	14	18,01
3	257	9	9	24,92
4	266	9	9	24,92
5	272	6	6	39,25
6	276	4	4	61,81
7	283	7	7	33,03
8	289	6	6	39,25
9	293	4	4	61,81
10	298	5	5	48,14
11	305	7	7	33,03
12	311	6	6	39,25
13	318	7	7	33,03
14	328	10	10	22,15
15	335	13	13	16,5
16	339	4	4	61,81
17	342	5	5	48,14

Výsledky:

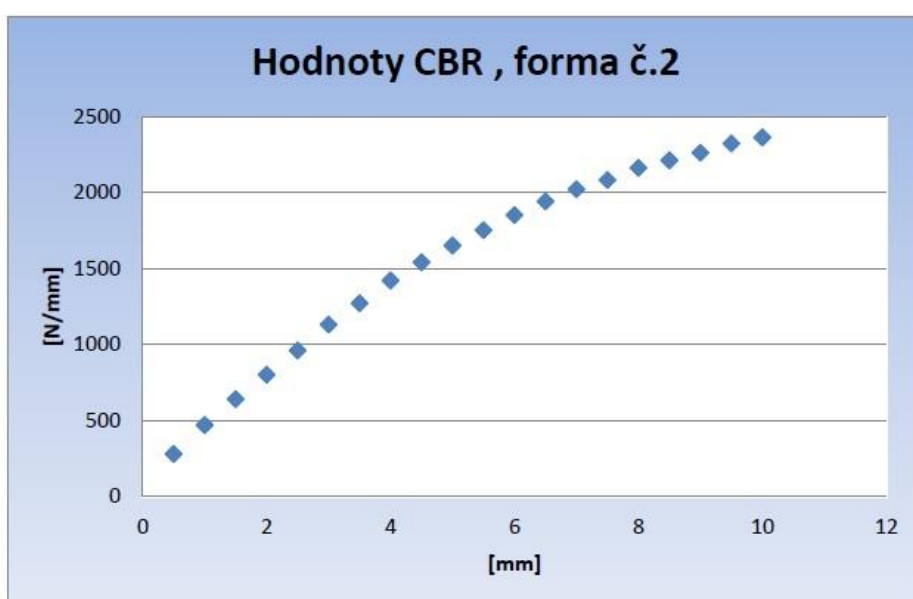
Přidáním pojiva (CaO) se zlepší vlastnosti dané zeminy, zemina začíná tvrdnout a stává se více únosná. Vykazuje lepší vlastnosti pro podkladní vrstvu pozemní komunikace. Ze zkoušky je viditelné, že u forem se zlepšenou zeminou bylo potřeba více úderů pomocí DCP přístroje, než u formy s původní zeminou. Po 7 dnech je rozdíl v počtech úderů mezi formou č.2 a formou č.3 dvojnásobný, po 14 dnech se tento rozdíl zvětšil téměř na trojnásobek.

Po provedení zkoušky penetrací DCP jsem provedl na vzorcích zlepšené zeminy i laboratorní zkoušku CBR a to u forem se zlepšenou zeminou.

Výsledky zkoušky CBR:

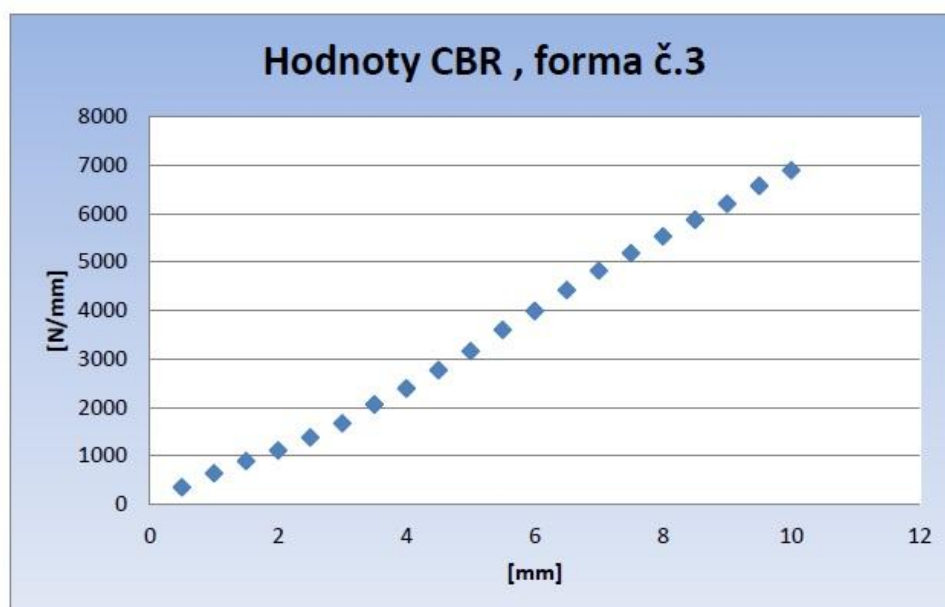
Forma č.2

mm	N	mm	N
0,5	280	5,5	1750
1,0	470	6,0	1850
1,5	640	6,5	1940
2,0	800	7,0	2020
2,5	960	7,5	2080
3,0	1130	8,0	2160
3,5	1270	8,5	2210
4,0	1420	9,0	2260
4,5	1540	9,5	2320
5,0	1650	10,0	2360



Forma č.3

mm	N	mm	N
0,5	350	5,5	3600
1,0	640	6,0	3990
1,5	890	6,5	4440
2,0	1110	7,0	4820
2,5	1380	7,5	5180
3,0	1670	8,0	5530
3,5	2060	8,5	5870
4,0	2390	9,0	6200
4,5	2770	9,5	6570
5,0	3160	10,0	6890



Vyhodnocení zkoušky:

- Standardní síly podle ČSN [8]

Penetrace v mm	Standardní síla v kN
2,5	13,2
5	20

Výpočet CBR pro formu č. 2

Penetrace [mm]	Síla [kN]	Standardní síla [kN]	CBR [%]
2,5	0,960	13,2	7,27
5,0	1,650	20	8,25

Výpočet CBR pro formu č. 3

Penetrace [mm]	Síla [kN]	Standardní síla [kN]	CBR [%]
2,5	1,380	13,2	10,45
5,0	3,160	20	15,80

V některých českých předpisech se pracuje s hodnotou CBR = 5 %, jakožto s hodnotou, která má být dostatečná pro únosnost zeminy zemní pláň.

Požadované hodnoty poměru únosnosti CBR pro zlepšené zeminy [7]

Místo použití	Zlepšení příměsí pojiva
V podloží násypu	min 10% CBR
V násypu	min 10% CBR
Vrstva aktivní zóny	min 15% CBR

Ze zkoušek CBR lze vyčíst, že je zemina vhodná do konstrukčních vrstev pozemních komunikací. Po přidání 3% CaO je zemina vhodná i do aktivní zóny a. Rozdíl mezi 1% CaO a 3 % CaO je značný, jak jde vidět z tabulek naměřených hodnot.

9. Závěr

Penetrace DCP se postupem času stává více používanou, v dnešní době se už rozšiřuje do více států. Zkouška penetrací DCP patří mezi rychlé a snadno obsluhovatelné. V konstrukcích pozemních komunikací se dají rychle získat informace o podloží. Náklady na pořízení měřicího přístroje nejsou příliš nákladné. Výsledky naměřených hodnot pomocí penetrace DCP se můžou snadno a rychle korelovat pomocí grafů a tabulek na některé vlastnosti zeminy získané laboratorní zkouškou CBR. Vzhledem k vlastnostem DCP by se tato zkouška měla více rozšiřovat a používat v pozemních komunikacích. Podle mého názoru by se mělo více zaměřovat na korelační vztahy.

10. Seznam použitých zdrojů

Literatura

- [1] ČSN EN ISO 22476-2: Geotechnický průzkum a zkoušení- Terénní zkoušky- Část 2: Dynamická penetrační zkouška
- [2] HORÁK, V.; STEHLÍK, D., Lehký dynamický penetrometr DCP, příspěvek na konferenci, AZ Consult, spol. s r.o., ČKAIT, ČSSI, SSSI, Gt.Spol. ČSSI, Ústí nad Labem, 2006
- [3] SULLIVAN, R. H. User guide to the dynamic cone penetrometer
- [4] P Paige-Green and L Du Plessis : The use and interpretation of the dynamic cone penetrometer (DCP) test, CSIR Built Environment Pretoria, 2008
- [5] GAMESTAT s.r.o., Měření míry zhutnění a diagnostika podkladních vrstev vozovek pomocí lehkého dynamického penetrometru DCP
- [6] Mohammadi, S.D. and Nikoudeh, m.r., The use of dynamic cone penetrometer (dcp) to determine some useful relationships for sandy and clayey soils, Tarbiat Modares University, Tehran
- [7] ČSN EN 13286-47: Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy- Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání
- [8] ČSN 73 6186: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti a okamžitého indexu únosnosti in situ
- [9] ČSN 73 6190: Statická zatěžovací zkouška podloží a podkladních vrstev vozovek
- [10] ČSN 73 6192: Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží
- [11] K-GEO s.r.o., Statická a rázová zatěžovací zkouška
- [12] Kessler DCP, www.kesslerdcp.com
- [13] GEOSTAR: Úprava málo vhodných a nevhodných zemin vápnem v tělese zemních konstrukcích
- [14] Ekrem Seyman, Laboratory Evaluation of in-situ Tests as Potential Quality Control/quality Assurance Tools

11. Seznam použitých zkratk a symbolů

DCP - Dynamic Cone Penetrometer (Dynamický Kuželový Penetrometr)

CBR - California Bearing Ratio (Kalifornský Poměr Únosnosti)

QA - Quality Assurance (Ujištění Kvality)

QC - Quality Control (Kontrola Kvality)

IBV - Immediate Bearing Vallue (Okamžitá Únosnost)

IBI - Immnediate Bearing Index (Okamžitý Index Únosnosti)

12. Seznam obrázků

- Obrázek 1. *Schéma dynamického kuželového penetrometru*
Obrázek 2. *Přepravní obal DCP*
Obrázek 3. *Jednorázový a standardní kužel*
Obrázek 4. *Spouštění beranu*
Obrázek 5. *Provádění zkoušky DCP*
Obrázek 6. *Vytahování penetrační tyče*
Obrázek 7. *Aplikace výsledků*
Obrázek 8. *Typ Standard K-100*
Obrázek 9. *Typ Deluxe K-100*
Obrázek 10. *Typ International K-100*
Obrázek 11. *Typ Economy K-100*
Obrázek 12. *Typ KEAALER MR100*
Obrázek 13. *Schéma laboratorní zkoušky CBR*
Obrázek 14. *Penetrační křivka*
Obrázek 15. *Příčný řez pozemní komunikací*
Obrázek 16. *Schéma laboratorní zkoušky IBI*
Obrázek 17. *Statická zatěžovací zkouška*
Obrázek 18. *Zatěžovací deska kruhového tvaru*
Obrázek 19. *Závislost mezi DCP a $E_{PLT(R2)}$*
Obrázek 20. *Závislost mezi DCP a $E_{PLT(i)}$*
Obrázek 21. *Rázová zatěžovací zkouška*
Obrázek 22. *Lehká dynamická zatěžovací deska*
Obrázek 23. *Vzájemná závislost mezi DCP a rázovou zatěžovací zkouškou*

13. Seznam příloh

- Příloha 1 Grafy závislosti mezi DCP a CBR
Příloha 2 Korelační tabulka mezi DCP a CBR
Příloha 3 Tabulka pro odhad pevnosti podloží (jemnozrnné zeminy)
Příloha 4 Formulář pro zapisování hodnot zkoušky
Příloha 5 Fotodokumentace

Příloha 1

Grafy od společnosti Mn/road naměřených v Minnesotě

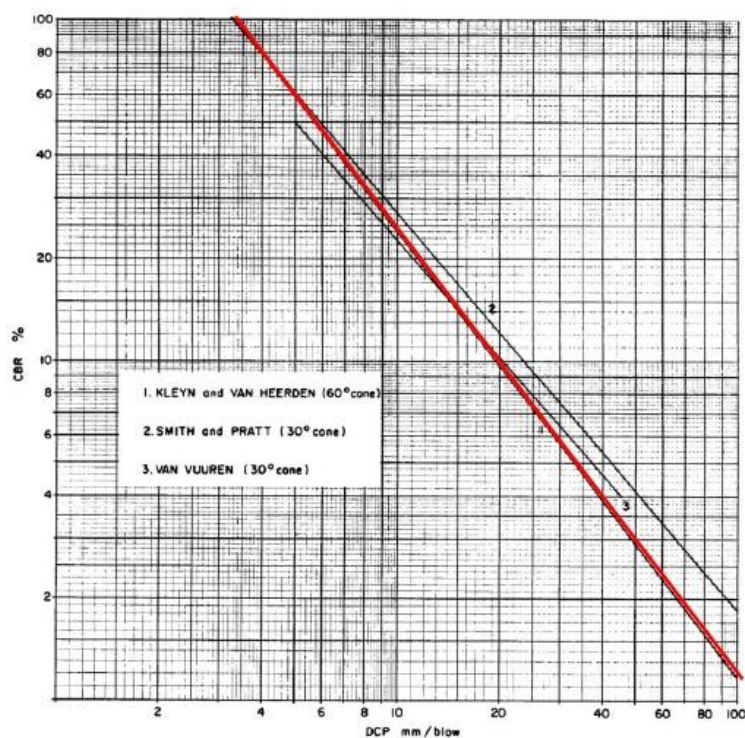
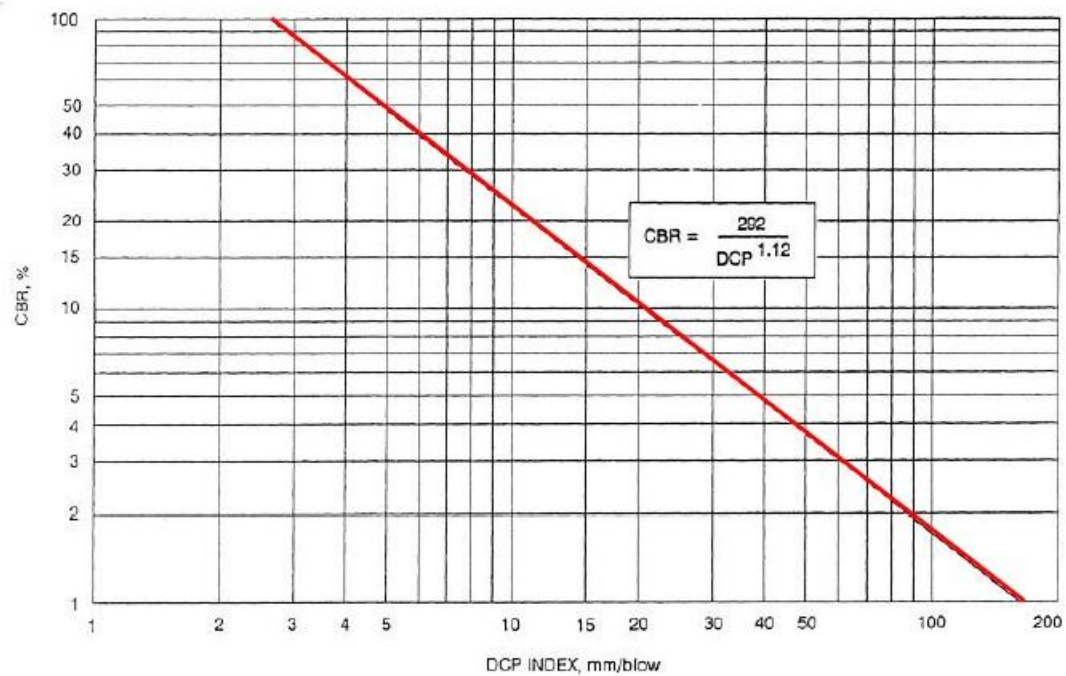


FIGURE 240-20-4 DCP - CBR RELATIONSHIP

Příloha 2

Korelační tabulka mezi DCP a CBR:

DCP Index (mm/blow)	CBR (%)	DCP Index (mm/blow)	CBR (%)
<3	100	51	3.6
3	80	52	3.5
4	60	53-54	3.4
5	50	55	3.3
6	40	56-57	3.2
7	35	58	3.1
8	30	59-60	3.0
9	25	61-62	2.9
10-11	20	63-64	2.8
12	18	65-66	2.7
13	16	67-68	2.6
14	15	69-71	2.5
15	14	72-74	2.4
16	13	75-77	2.3
17	12	78-80	2.2
18-19	11	81-83	2.1
20-21	10	84-87	2.0
22-23	9	88-91	1.9
24-26	8	92-96	1.8
27-29	7	97-101	1.7
30-34	6	102-107	1.6
35-38	5	108-114	1.5
39	4.8	115-121	1.4
40	4.7	122-130	1.3
41	4.6	131-140	1.2
42	4.4	141-152	1.1
43	4.3	153-166	1.0
44	4.2	166-183	0.9
45	4.1	184-205	0.8
46	4.0	206-233	0.7
47	3.9	234-271	0.6
48	3.8	272-324	0.5
49-50	3.7	>324	<0.5

Příloha 3

Tabulka pro odhad pevnosti podloží (jemnozrnné zeminy)

Odhad konzistence		Zkouška				Korelované vlastnosti	
Makroskopicky	Vliv a jeho vizuální zhodnocení	Standardní penetrační zkouška	Dynamický kuželový penetrometr (mm/úder)			Smyková pevnost [kPa]	CBR
			SC, SM, SP	CL	CH		
Velmi měkká	Stojící člověk se boří > 75 Mm	< 2	-	-	-	< 10	< 0,4
Měkká	Kráčející člověk se boří ~ 50-70mm	2 - 4	-	-	-	10 - 25	0,4 - 0,8
Střední	Kráčející člověk se boří ~25 mm	4 - 8	-	> 66	-	25 - 50	0,8 - 1,6
Tuhá	Lehké nákladní auto vyjede stopu ~ 12-25 mm	8 - 15	> 100	66 - 46	-	50 - 100	1,6 - 3,2
Velmi tuhá	Naložené sklápěcí auto vyjede na stopu ~ 25-75 mm	15 - 31	100 - 55	46 - 33	> 109	100 - 200	3,2 - 6,4
Tvrdá	Od naloženého nákladního auta není stopa znatelná	> 30	56 - 27	33 - 23	109 - 54	> 200	> 6,4

Vysvětlivky: SC písek jílovitý
 SM písek hlinitý
 SP písek špatně zrněný
 CL jíl nízké až střední plasticity
 CH jíl vysoké plasticity

Příloha 4

[illegible]

Příloha 5



Příprava vzorků zeminy



Hutnicí beran



Forma na zhutnění zeminy



Formy se zeminou připravené na zkoušky