

ИСПИТИВАЊЕ CBR-а ДИНАМИЧКИМ КОНУСНИМ ПЕНЕТРОМЕТРОМ (DCP) ПРИ РЕХАБИЛИТАЦИЈИ ПУТЕВА

Симо Тошовић, Маријана Николић
Институт за путеве, а.г., Београд, Србија

Резиме: У раду су приказани основни принципи рада са динамичким конусним пенетрометром (DCP), апарату са којим се добијају подаци о носивости шtamионских слојева и постелице *in – situ*, као и дефинисање дебљине и границе између слојева.

Динамички конусни пенетрометар је врло лак за транспорт и употребу, омогућава извођење великог броја података, и брзо добијање резултата испитивања.

У раду су анализирани резултати испитивања на терену за финозрне материјале, уз корелацију са резултатима лабораторијског испитивања CBR-а.

Кључне речи: динамички конусни пенетрометар, носивост, корелација, CBR

TESTING OF CBR BY DYNAMIC CONE PENETAMETER (DCP) DURING ROAD REHABILITATION

Abstract: This paper presents the basic principles of work with dynamic conical pentameter (DCP), device which provides data on bearing capacity of blanket course and subgrade *in – situ*, as well as definition of thickness and boundary between layers.

Dynamic conical pentameter is very easy for transport and utilization, enables large number of tests and rapid testing results.

Results of testing in field for micro – granular and coarse – granular materials, with correlation to results of laboratory testing of CBR are analyzed in this paper.

Key words: dynamic conical pentameter, bearing capacity, correlation, CBR

1. УВОД

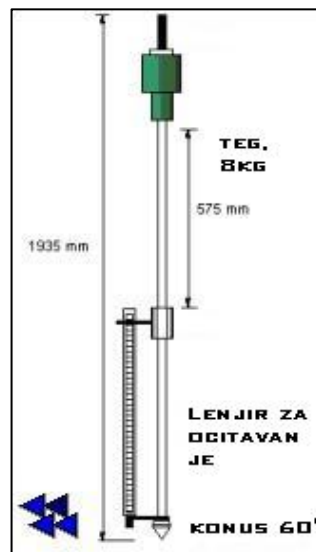
Рехабилитација путева често захтева испитивања постојеће конструкције пута, почев од носећих слојева до постелице и подтла. Отварање сондажних јама и узимање узорака за лабораторијска испитивања, као и теренски опити носивости и збијености треба да нам дају јасну слику о стању коловозне конструкције. Један од параметара који врло често испитујемо, најчешће у постеличном слоју је и калифорнијски индекс носивости - **CBR** опит.

Теренски опит пенетрације који је развијен са динамичким конусним пенетрометром **DCP**, омогућаје нам да на терену изведемо мерење отпорности – носивости слојева у подлози. Динамички конусни пенетрометар омогућаје брзо и једноставно извођење великог броја опита, лак је за транспорт и врло економичан.

Из података које добијемо пенетрацијом конуса можемо успоставити корелацију са калифорнијским индексом носивости (**CBR**). У овом раду биће приказана корелација која је успостављена између лабораторијског **CBR** опита и резултата **DCP** који је изведен при рехабилитацији регионалног путног правца Гаџин Хан – пролаз кроз Равну Дубраву.

2. ДИНАМИЧКИ КОНУСНИ ПЕНЕТРОМЕТАР

Динамички конусни пенетрометар (DCP) приказан на слици 1, састоји се од две челичне цеви пречника 16 mm, које се навојем спајају приближно на средини инструмента. На дну доње цеви се поставља конус од 60° или 30°. На горњој цеви се налази тег, тежине 8 kg. Тег слободно пада са фиксне висине од 575 mm и врши утискивање шипке са конусом у тло. На лењиру, бочно постављеном уз доњу шипку, читава се пенетрација доње цеви у тло, након сваког удара тега. Ова вредност се изражава у милиметрима по удару и представља индекс пенетрације (DCPI). На основу индекса пенетрације са једне стране, и дубине пенетрације, која се читава на лењиру, са друге стране, могуће је конструисати криву утискивања. Што је тло „тврђе“ и веће отпорности, индекс пенетрације је мањи.

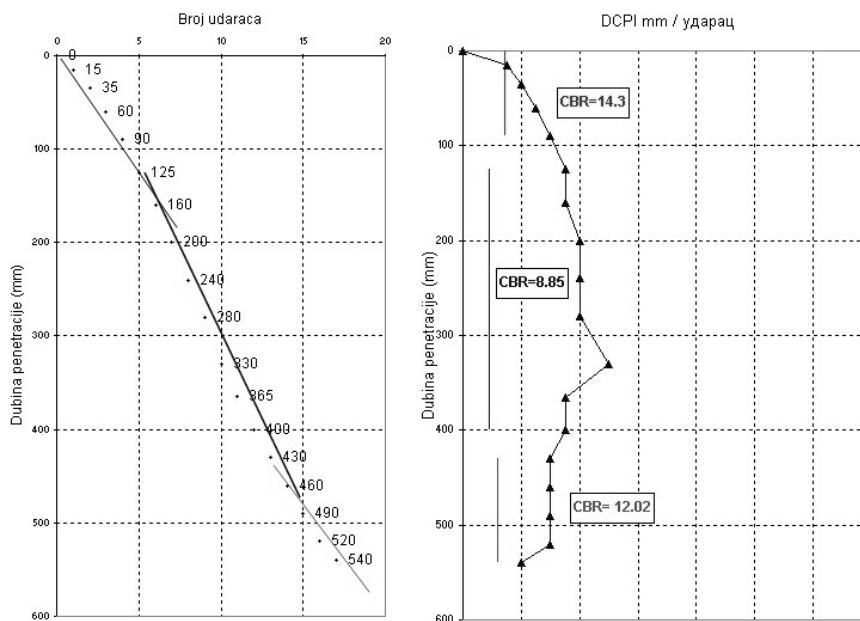


Слика 1. – Динамички конусни пенетрометар

Очитавање пенетрације се врши након сваког ударца тега. Но, уколико је степен пенетрације мањи од 20 mm/удару, литерарне препоруке су да се фреквенција очитавања може умањити на следећи начин:

- 1 читање на свака 2 удара са пенетрацијом од 10 - 20 mm
- 1 читање на свака 5 удара са пенетрацијом од 5 - 9 mm
- 1 читање на свака 10 удара са пенетрацијом од 2 - 4 mm
- Дубина пенетрације је мања од 1 mm и прелази 20 удара, сматра се да је опит непрменљив

На слици 2 приказана је интерпетација података из опита DCP-а. На левом дијаграму је приказана зависност између броја удараца и дубине утискивања. Прелом криве нам приказује промену средине по физичко - механичким карактеристикама. На десном дијаграму је приказан индекс пенетрације DCPI у функцији дубине пенетрације. Преко индекса DCPI успоставља се корелациона зависност са лабораторијским CBR-ом.



Слика 2. – Инверзија резултата испитивања DCP – от

2. ПРОРАЧУН CBR-а ИЗ ОПИТА DCP-а

У циљу дефинисања емпиријске зависности између индекса пенетрације (DCPI) и лабораторијског индекса носивости CBR-а, рађена су обимна мерења и истраживања. Постоји више различитих корелација, зависно од аутора и врсте испитиваног материјала и употребљеног конуса.

Овде ћемо навести неке:

Конус	Аутори	Формуле
60°	TRL(1)	$\text{Log}_{10}(\text{CBR}) = 2.48 - 1.057 \text{Log}_{10}(\text{DCP})$
	Kleyn ⁽²⁾ (DCP > 2 mm/ударцу)	$\text{CBR} = 410 (\text{DCP})^{-1.27}$
	Kleyn ⁽³⁾ (DCP ≤ 2 mm/ударцу)	$\text{CBR} = 66.66(\text{DCP})^2 - 330(\text{DCP}) + 563.33$
30°	Expansive Clay Method ⁽⁴⁾	$\text{Log}_{10}(\text{CBR}) = 2.135 - 0.858 \text{Log}_{10}(\text{DCP})$
	Smith and Prath ⁽⁶⁾	$\text{Log}_{10}(\text{CBR}) = 2.555 - 1.145 \text{Log}_{10}(\text{DCP})$

Ове зависности најчешће су логаритамске, при чему је веза у општем случају дата као :

$$\text{Log}_{10}(\text{CBR}) = K + C \text{Log}_{10} (\text{DCPI}) \dots\dots\dots (1)$$

при чему је:

CBR – лабораторијска вредност CBR-а

K – коефицијент

C – константа

DCPI – количник између дубине утискивања и броја удараца (mm/удару)

Врло често при коришћењу ових или сличних формула немамо јасне параметре класификације материјала на којима је изведена формула и да ли у потпуности одговара материјалу за који рачунамо вредност CBR опита.

Препоручујемо да се при рехабилитацији путева ураде паралелно при отварању сондажних јама лабораторијски CBR опит и DCP опит, и успостави зависност између ова два параметра. Динамичким конусним пенетрометром је могуће учесталије извршити опите између сондажних јама и тако стећи јасну слику о промени CBR-а дуж трасе пута.

3. УСПОСТАВЉАЊЕ КОРЕЛАЦИОНЕ ЗАВИСНОСТИ

Из одређене конструкције пута, горњи носећи слој, доњи носећи слој или постељица за које успостављамо корелациону зависност узоркују се материјали након отварања сондажних јама и ураде се лабораторијски CBR опити. У непосредној близини сондажних јама, извршити испитивања са динамичким конусним пенетрометром. Из резултата испитивања добијених са DCP-ом и лабораторијског испитивања CBR-а, могуће је успоставити зависност између ових параметара у испитиваној средини, на најмање два испитивања по следећем поступку:

$$\text{Log}_{10}(\text{CBR}_1) = K + C \text{Log}_{10}(\text{DCPI}_1) \dots\dots\dots (2),$$

$$\text{Log}_{10}(\text{CBR}_2) = K + C \text{Log}_{10}(\text{DCPI}_2) \dots\dots\dots (3),$$

након сређивања формула добијамо константу C:

$$C = \text{Log}(\text{CBR}_2 / \text{CBR}_1) / \text{Log}(\text{DCPI}_2 / \text{DCPI}_1) \dots\dots\dots (4),$$

Коефицијент K ћемо извести из једне од једначина:

$$K = \text{Log}_{10}(\text{CBR}_1) - C \text{Log}_{10}(\text{DCPI}_1) \dots\dots\dots (5)$$

Уколико имамо више паралелних опита лабораторијског CBR-а и резултата DCP, формирамо дијаграм, наносећи на апсцису $\text{Log}_{10}(\text{DCPI})$, а на ординату $\text{Log}_{10}(\text{CBR})$. Успоставимо између ова два параметра линеарну зависност методом најмањих квадрата. Напомињемо да зависност између ова два параметра не мора бити искључиво логаритамска, може се интерпретирати линеарним трендом методом најмањих квадрата или полиномском интерполацијом.

4. ПРИМЕР КОРЕЛАЦИЈЕ ЛАБОРАТОРИЈСКОГ CBR и CBR-а из DCP-а

При рехабилитацији пута Гацин Хан – Пролаз кроз Равну Дубраву изведене су три содажне јама. Коловозна конструкција се састојала од:

- асфалтног застора дебљине 5 до 8 cm,
- тампонског застора дебљине 15 до 20 cm,
- постељичног слоја од глине средње пластичности, која се налази и у подтлу

Асфалтни слој је испуцао и приметна је појава крокодилских пукотина, као што се види на слици 3.



Слика 3. – „Крокодилске љукошине“ на асфалтном засипору

Материјал из тампонског слоја по USCS класификацији спада у GM, GC – GM групу. Процент пролаза ситнозрне фракције на ситиу 0.09 mm је 17 %, а материјал има 10% крупнозрније фракције од 100 mm. Коефицијент неравномерности C_u се креће од 152 до 1515, а коефицијент закривљености C_z од 0.831 до 10. Гранулометријски састав показује повећану заступљеност једне фракције или дисконтинуални гранулометријски састав. Атербергове границе конзистенције нису могле бити одређене због учешћа песка до 10% који смањује пластичност ситнозрног материјала.

Материјал из постеличног слоја по USCS класификацији спада у групу глина средње пластичности, CL. Оновне физичке карактеристике испитане на три узорка дате су у табели бр.1. Вредности су приближне и представљају средњу вредност.

Табела бр.1. – Физичко – механичке карактеристике материјала из постеличног слоја

D (mm)					Y	Y_D	w	w_L	w_p	I_p	I_c
< 0.02	0.02 - 0.06	0.06 - 2.0	2.0 - 60	2.0 - 60	kN/m ³		(%)				
13	64	23	-	-	17.8	17.8	15.5	29.2	18.1	11.1	1.2

На узорцима узетим у све три сондажне јаме урађен је лабораторијски CBR опит. CBR вредност је одређена на оптималној влажности при максималној запреминској маси, на узорку пре потапања и након потапања четири дана у воду. Вредности параметара по Прокторовом опиту (оптимална влажност и максимална запреминска маса), CBR вредност у потопљеном и непотопљеном стању, као и вредности DCPI индекса одређене на терену дате су у табели бр.2,

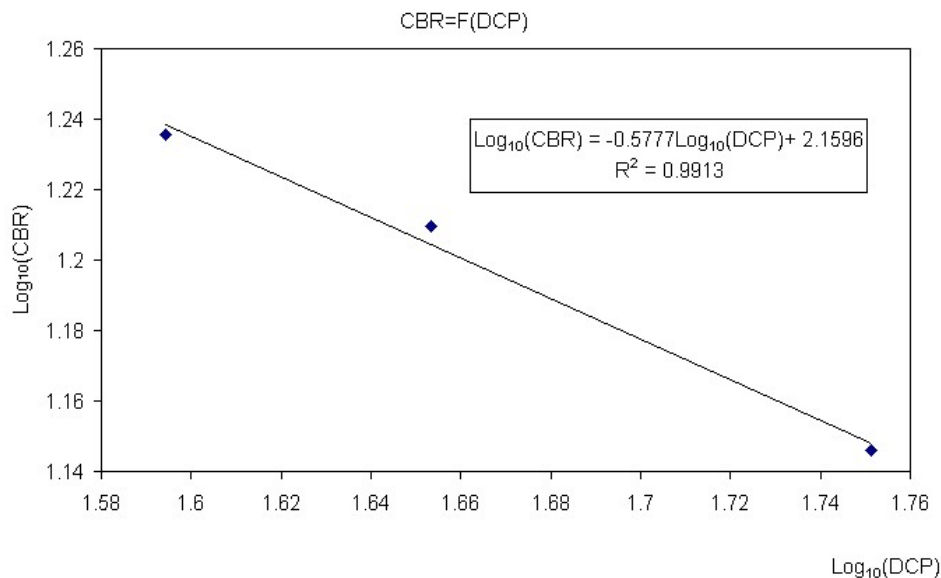
Табела бр.2. – Вредности параметара по Прокторовом опиту, CBR и DCPI вредности на постеличном слоју

ознака јаме	Y_{dmax}	W_{opt}	CBR на оптималној влажности	CBR након потапања у воду	DCPI
	kN/m ³	(%)	(%)	(%)	mm/udarcu
SJ-1	15.5	17.6	17.2	7.4	39.3
SJ-2	16.0	17.7	14	5.2	56.4
SJ-3	16.5	17.72	16.2	6.0	45

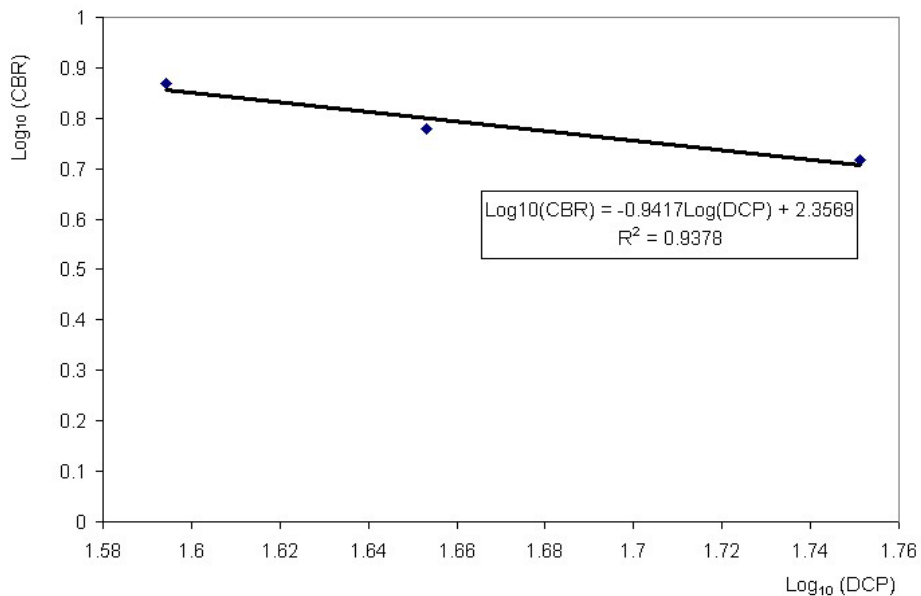
Уколико на апсису нанесемо вредности Log_{10} DCPI, а на ординату Log_{10} CBR, на оптималној влажности или потољен у воду и интерпретирамо методом најмањих квадрата добићемо зависност између CBR и DCPI у следећем облику:

$$\text{Log}_{10}(\text{CBR}) = K + C \text{Log}_{10}(\text{DCPI}) \dots \dots \dots (6)$$

Ова зависност приказана је на слици 4 и 5.



Слика 4. - Корелациона зависност између DCPI и вредности CBR-а на оптималној влажности



Слика 5. - Корелациона зависност између DCPI и вредности CBR-а након потапања у воду

Развијање корелационих зависности на материјалима који су предмет истраживања при рехабилитацији, пожељно је због добијања што прецизнијих зависности између лабораторијских и теренских параметара носивости.

5. ОГРАНИЧЕЊА ЗА УПОТРЕБУ DCP-а ЗАВИСНО ОД ВРСТЕ МАТЕРИЈАЛА

У циљу утврђивања могућности примене динамичког конусног пенетрометра при рехабилитацији путева, потребно је дефинисати и граничне услове употребе апарата. У случају испитивања на крупнозрним материјалима DCP може дати велико расипање резултата и његова примена код материјала крупноће зрна преко 50 mm, није потпуно поуздана. Одељења за транспорт из Минесоте (Mn/DOT), извело је бројна истраживања из области примене DCP-а при рехабилитацији и изградњи путева и дефинисало дозвољене - граничне вредности индекса пенетрације у зависности од врсте материјала.

Препоруке Mn/DOT за граничне вредности индекса пенетрације при рехабилитацији путева су следеће:

1. Глина/Прашина: DCPI < 25 mm/удару
2. Изабрани грануларни материјал: DCPI < 7 mm/удару
3. Mn/Road/class 3 special гранулација крупноће зрна до 30 mm: DCPI < 5 mm/удару
Ове вредности су базиране на предпоставци да постоје одређена ограничења која су пре свега везана за крупноћу и дисконтинуалност гранулометријског састава код крупнозрних материјала.

6. ЗАКЉУЧАК

При рехабилитацији путева веома је значајно добијање прецизних, поузданих и репрезентативних карактеристика материјала на терену (in-situ).

Динамички конусни пенетрометар нам омогућава брзу процену параметара носивости материјала на терену, корелативну са вредностима лабораторијског CBR-а. У циљу повећања поузданости и прецизности добијених података, препоручљиво је успостављање корелација за материјале који су предмет конкретног испитивања.

РЕФЕРЕНЦЕ:

1. Ryun McKane, *In situ field testing of mechanical properties*, University of Minnesota, Annual Geotechnical Engineering Conference, Yong Engineer Paper Competition, Feb.18.2000.,
2. John A. Siekmeier, Duane Yong, and David Beberg, *Comparision of the Dinamic Cone Penetrometer with Other Tests During Subgrade and Granular Base Characterization in Minesota*, 1999 god.
3. Simo Tošović, *Rehabilitacija putnog pravca Gadžin Han – Banjice, prolaz kroz Ravnu Dubravu*, 2007 god.
4. *Standard Test Procedures Manual*, Fondation investigation – Dyinamic cone Penetrometer, Saskat chewan Highways and Trasportation, 1992. god.
5. *Mn Road* – Office of Minesota Road Research – User guide to the Dyinamic cone Penetrometer.

