

PREDAVANJE BR. 5-2. MODULI STIŠLJIVOSTI PODLOGE

Slijeganje prometnica mora biti strogo kontrolirano projektnim rješenjem i održavanjem prometnice. To podrazumijeva izvedbu slojeva potrebne krutosti, tj. deformabilnosti, koja će osigurati trpeljiva slijeganja.

Slijeganja kolnika (ceste) ili šina pruge rezultat je slijeganja svih slojeva ispod te razine - nosivih i prelaznih, nasipa i temeljnog tla.

Osnovni parametar koji utječe na slijeganje (jer su opterećenja zadana sukladno razredu prometnice i očekivanim opterećenjima od prometa) jest modul stišljivosti.

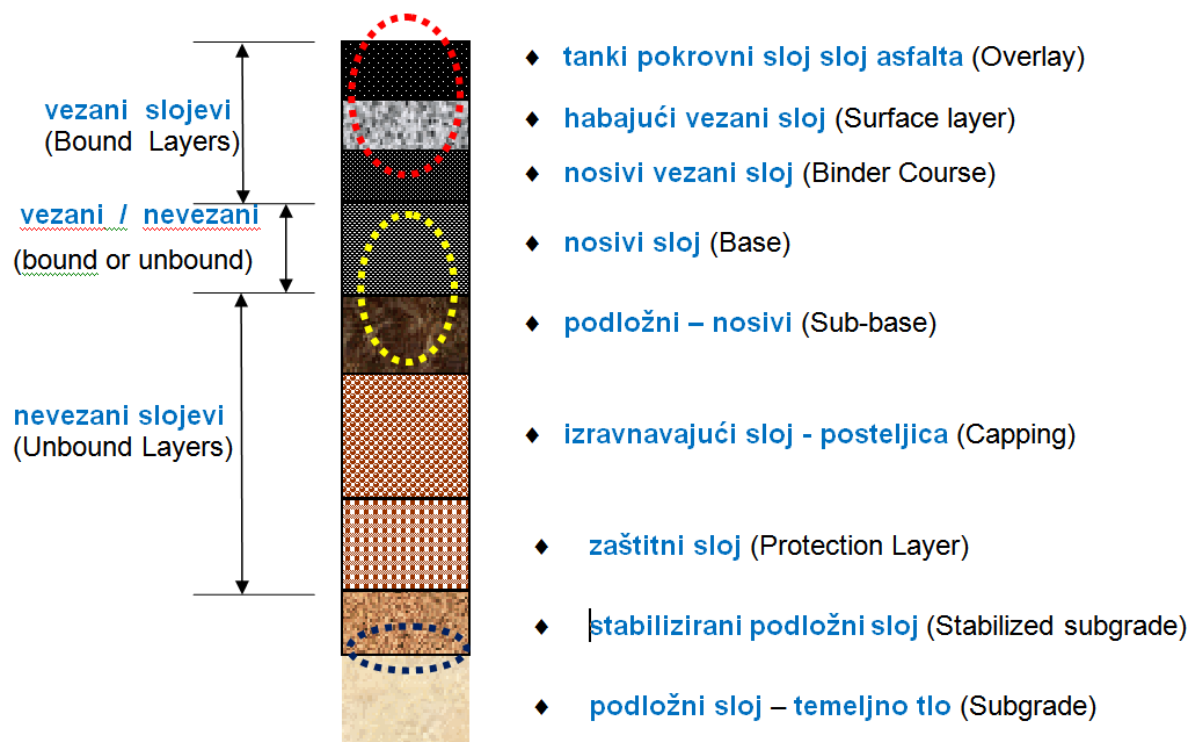
Taj modul nije jednak modulu vertikalne deformacije iz edometra, jer ne postoji spriječena bočna deformacija u tlu (kao u uzorku u edometru), ali se može povezati s njim. Taj modul se može odrediti i u laboratoriju (npr. u pokusu troosnog posmika) i na terenu, posebnim vrstama ispitivanja. Osnovni cilj izvedbe i projektnog rješenja jest zadržati očekivane deformacije u elastičnoj zoni. To se nikad ne može postići, jer se tlo pod cikličkim opterećenjem ponaša elasto-plastično, pa uvijek postoji i dio deformacije koji se prepoznaje kao plastičan deformacija – trajna deformacija. Ta deformacija treba biti što manja.

Geotehnički gledano, mora se osigurati određena krutost svih slojeva u nasipu (i u posteljici – temeljnom tlu) pravilnim izborom materijala, pravilnim zbijanjem materijala i pravilnom odvodnjom vode.

U nastavku teksta govorit će se o strukturi nasipa ceste i željeznice te o zahtijevanom modulu stišljivosti za pojedine zone nasipa, a nakon toga o metodama ispitivanja stišljivosti na terenu.

Ceste

Na slici 1. prikazan je općenit presjek ceste, s općim nazivljem koje se koristi u Europi.



Slika 1. Opći presjek ceste s nazivljem prema europskoj praksi (prema COST 348)

U Hrvatskoj postoje opći tehnički uvjeti kojima se propisuju svojstva materijala za izvedbu cesta i svojstva zbijenih slojeva u cestama izgrađenih od tih materijala. Taj dokument zove se **OPĆI TEHNIČKI UVJETI ZA RADOVE NA CESTAMA**, ima šest (6) knjiga, a geotehnički zahtjevi obrađuju se u knjigama 2 i 3 (zemljani radovi i kolnička konstrukcija).

Ovdje će se obraditi tehnički zahtjevi koji se tiču modula stišljivosti pojedine zone ceste.

Zbijanjem se izvode svi nevezani i vezani slojevi cesta:

- nosivi nevezani sloj (npr. tampon)
- nosivi vezani sloj (npr. stabilizacija)
- podložni nosivi sloj (npr. šljunak)
- slojevi nasipa (nekoherentni ili koherentni)
- temeljno tlo / zamjensko tlo (nekoherentno ili koherentno)

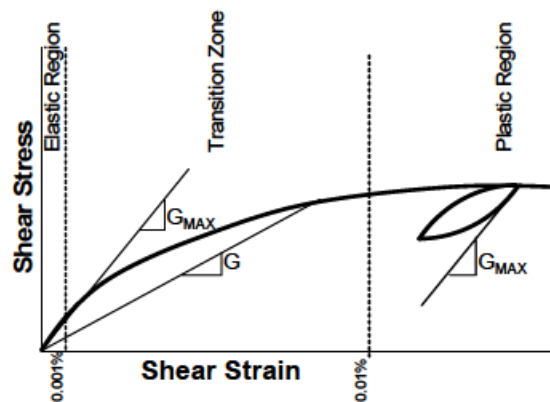
Tablica 1. Traženi moduli stišljivosti (M_s) za pojedine slojeve cesta (OTU)

Sloj – pozicija u profilu	traženi M_s , MPa (statička ploča \varnothing 300 mm)	Komentar
posteljica – temeljno tlo	glina, ≥ 30	$S_z \geq 100\%$ Proctor standard $W_{opt} \pm 2\%$
	miješani materijali, ≥ 30	$S_z \geq 100\%$ Proctor standard $W_{opt} \pm 2\%$
	kameni materijali, ≥ 40	$S_z \geq 100\%$ Proctor standard
nasip	koherentno tlo, $\geq 20 - 25$	ovisno o visini nasipa $S_z \geq 95 - 100\%$
	miješani materijali, $\geq 35 - 40$	
	kameni materijali, $\geq 35 - 40$	
nosivi sloj – nevezani kameni materijal	$M_s \geq 50$, $S_z \geq 95$	ispod gornjih vezanih slojeva debljine > 40 cm
	$M_s \geq 80$, $S_z \geq 98$	ispod asfaltnog zastora ≥ 15 cm i stabilizacije $30 - 40$ cm
	$M_s \geq 100$, $S_z \geq 100$	ispod asfaltnog zastora i bitum. slojeva tanjih od 15 cm
	* - S_z se odnosi na Proctor standard	

Napomena: u konstrukcijama aerodroma koristi se u pravilu Proctor modificirani kao referentni pokus za S_z .

Potrebno je primijetiti da se u normama za ceste prema OTU ne spominje modul Ev1 i Ev2 (što se koristi u željeznicama i aerodromima). To se može smatrati nedostatkom, kako će biti opisano u nastavku teksta (vidi dalje - pokus statičkom pločom).

Na slici 1-a. prikazani su moduli tla u ovisnosti o posmičnoj deformaciji. Najveći je modul pri malim deformacijama (tzv. G_0) a najmanji pri velikim deformacijama. U prometnicama nastojimo zadržati ponašanje tla u elastičnom području (male deformacije)

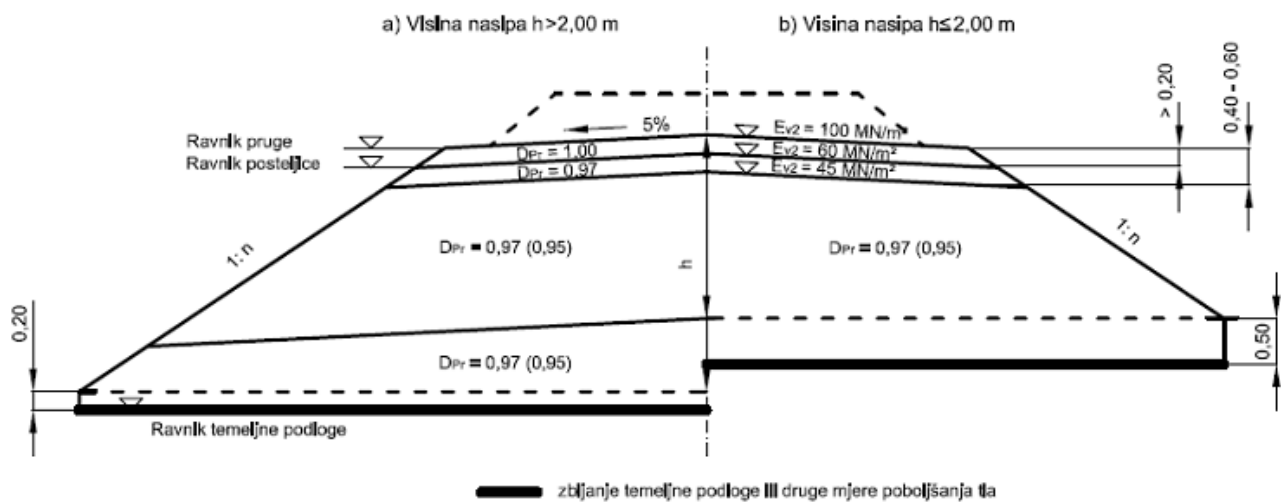


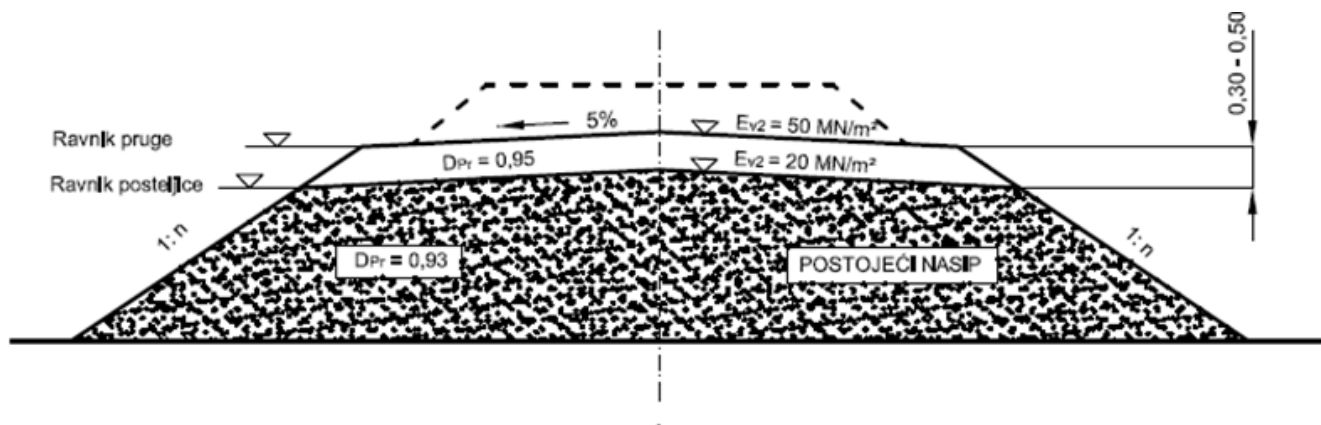
Sliak 1-a. Definicija modula prema veličini derformacije (Minnesota D. T. , 2004)

Željeznice

Hrvatska ima zastarjele pravilnike o izgradnji donjeg ustroja željeznica (pa i gornjeg ustroja). Zbog toga se često u praksi koriste odredbe njemačkih željeznica (DB – Deutsche Bahn) ili UIC (International Railway Union).

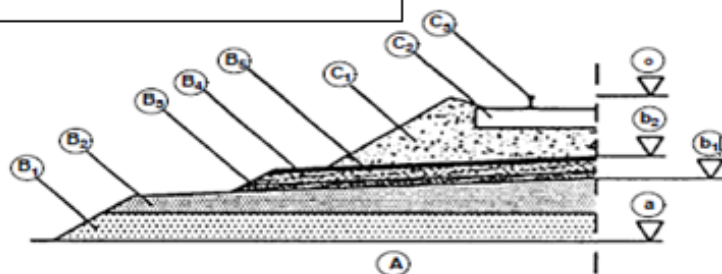
Na slici 2. prikazani su zahtjevi za stižljivost (modul E_{v2} , modul u ponovljenom opterećenju) prema prijedlogu novih propisa. Na slici 3. prikazani su zahtjevi prema UIC.





Slika 2. Gore: zahtjevi za zbijenost nasipa za novogradnje ostalih pruga i kolosijeka, dolje: zahtjevi za zbijenost nasipa postojećih pruga za brzine $v \leq 160 \text{ km/h}$, prema budućem pravilniku RH o donjem pružnom ustroju

tipična konstrukcija željezničkog nasipa



shematski poprečni presjek

Tablica 2:termini i primjeri

		slojevi		površine	primjeri korištenih materijala
gornja struktura	C3	površina tračnica	c	vozna	čelična šina
	C2	prag			- drvo - čelik - beton
	C1	zastor			tvrdi drobljeni kamen
donja struktura	B5	zaštitni sloj	b2	ravnik pruge	- bitumenska prekrivka - mineralni agregat
	B4	temeljni sloj			- pjeskoviti šljunak I, II, 100, 120 - pjeskoviti šljunak CFF
	B3	filtrarski sloj	b1	ravnik posteljice	- pijesak - geotekstil
	B2	pripremljena podloga			- zbijeno - zamjenski nasip - stabilizacija
	B1	nasipi			
	A	teren	a	površina terena	

veličina	NASIP	završni sloj nasipa (SUBGRADE)	ZAŠTITNI SLOJ (blanket) –za novu prugu
ρ_d	95% PR STND	100 % PR ST 95% PR MOD	100 -103 % PR ST 98 – 100 % PR MOD
Ev2	45 - 60 MN/m ² (C,M – S,G)	≥ 80 MN/m ²	≥ 120 MN/m ²
Ev2/Ev1	2,2 za Ev1 manji od Ev2 _{min}	2,2 za Ev1 manji od Ev2 _{min}	2,2 za Ev1 manji od Ev2 _{min}

Slika 3. Slojevi konstrukcije nasipa željeznice i tražena svojstva, prema UIC, 2008.

U željeznicama strogo vode računa o modulima Ev1 (modul pri prvom opterećenju) i Ev2 (modul pri ponovljenom opterećenju), što je ispravno.

POKUSI ZA ISPITIVANJE MODULA STIŠLJIVOSTI U PROMETNICAMA

Pokus statičkom probnom pločom

Pokus se izvodi pločom promjera 30 cm, koja se postavlja na uređenu i poravnatu podlogu, i mjeri se slijeganje ploče pod inkrementima opterećenja.

Podloga mora biti dobro obrađena, kako bi se naprezanja od ploče prenijela preko čitave njene površine na tlo. U tu svrhu se često pozicija mjerenja posipa pijeskom i poravnava.

Inkrementi opterećenja zadani su normom, kao i njihovo trajanje. Slijeganje ploče mjeri se u tri neovisne točke oko oboda ploče, a srednja vrijednost pomaka iz ove tri točke tumači se kao pomak centra ploče.

Opterećenje se dodaje preko klipa hidrauličke preše, koji mora imati oporac u neko teško vozilo (osovinu kamiona, ili valjka za valjanje). Novi inkrement opterećenja se primjenjuje tek nakon što se smiri slijeganje pri prethodnom inkrementu, odnosno kada prirast slijeganja bude dovoljno mali u vremenu.



Slika 4. Pokus statičkim opterećenjem pločom

U Hrvatskoj se još uvijek koristi stara norma za ovaj pokus (HRN UB1 046). Tim postupkom propisuje se samo jedno opterećenje u inkrementima, bez rasterećenja i ponovnog opterećenja. Preporučuje se koristiti njemačku normu DIN 18134:2001-09 (vidi u nastavku opis metode) za ispitivanje nosivosti tla statičkom pločom.

ISPITIVANJE PLOČOM DIN 18134:2001-09

Ispituje se modul u prvom opterećenju (Ev1), modul u drugom opterećenju (Ev2) i računa koeficijent reakcije podloge k

/oznake točke uz podnaslove odgovaraju oznakama u normi/

5.5. Mjerenje sile

- maksimalna netočnost ispod 1% najvećeg opterećenja
- očitavanje najmanje 0,001 MN/m² (1 kN/m², tj. 0,01 bar)

5.6. Mjerenje pomaka

- oslonci u trokutu
- najmanji razmak sredine ploče i oslonca 1,5 m ± 5 mm
- najmanje očitavanje na mikrouri 0,01 mm

7. 2. Priprema plohe za ispitivanje

- prekriti očišćenu i poravnatu plohu srednje sitnim suhim pijeskom ili gipsom, u debljini od nekoliko mm
- najmanja udaljenost ruba ploče do oslonca kontr-opterećenja 0,75 m

7. 3. Priprema nosača mikroure

- najmanji razmak nožice nosača mikroure do oslonca kontra-tereta je 1,25 m

7.4. Predopterećenje

- predopterećenje 0,01 MN/m² (10 kN/m²) u trajanju oko 30 s

7.5. Režim opterećenja za module zbijenosti E

- najmanje šest stupnjeva do maksimalnog opterećenja
- najmanji vremenski razmak između dva stupnja opterećenja 1 min
- rasterećenje u tri koraka od najvećeg opterećenja – 50%, 25%, 0%
- općenito 120 s treba proći od umirenja na prethodnom opterećenju do podizanja novog opterećenja

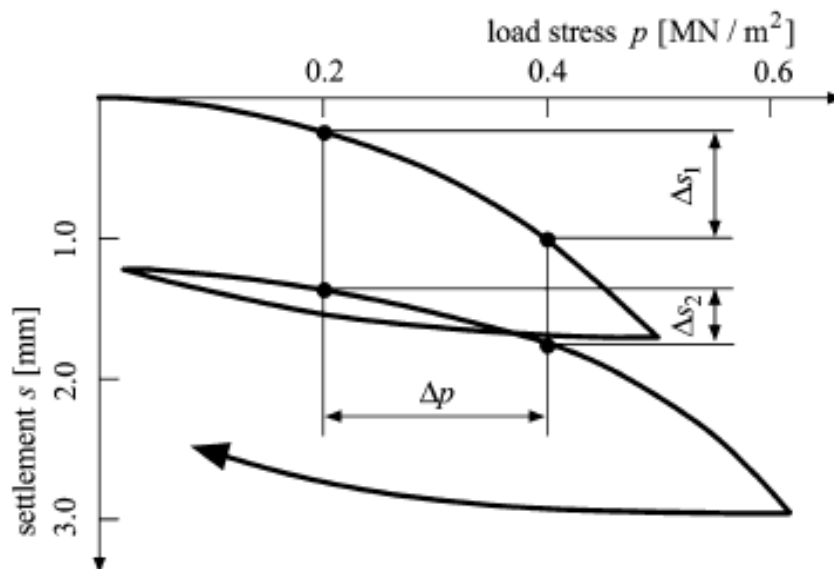
- to vrijeme u cestogradnji može biti smanjeno na 60 s
- najveće opterećenje u cestogradnji je 0,5 MN/m² (500 kN/m², ili 5 bar)
- opterećenje pod kojim se pojavi deformacija od 5 mm ili više smatra se najvećim opterećenjem, ako se to dogodi prije 0,5 MN/m²

Redoslijed i veličina inkremenata opterećenja

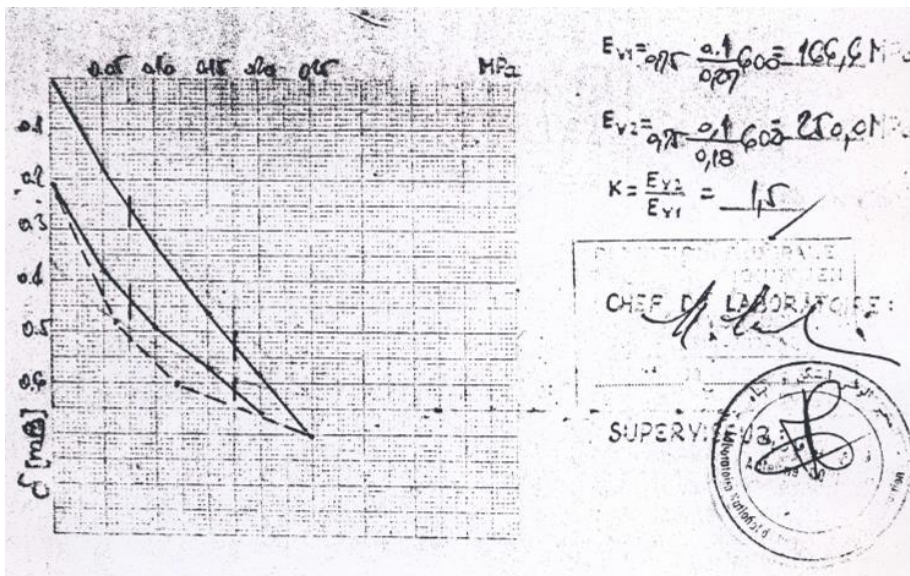
broj opterećenja	iznos opterećenja , MN/m ²	
1	0,080	
2	0,160 (koristi 0,150)	
3	0,250	1. opterećenje
4	0,330 (koristi 0,350)	
5	0,420	
6	0,500	
7	0,250	
8	0,125	rasterećenje
9	0	
10	0	
11	0,080	
12	0,160 (koristi 0,150)	
13	0,250	2. opterećenje
14	0,330 (koristi 0,350)	
15	0,420	

Interpretacija :

- nacrtaj dijagram naprezanja i slijeganja (vidi sliku 5)



Slika 5. Odnos naprezanja i slijeganja dobiven ispitivanjem statičkom pločom



Slika 6. Rezultat ispitivanja pločom na aerodromu Boufarik – Alžir, (1987), prema švicarskoj normi sličnih odredbi normi DIN

- izračunaj module E_{v1} i E_{v2} kao sekantni modul između 30 % i 70 % maksimalnog opterećenja – točka 3.2. norme
- ako je maksimalno opterećenje 0,5 MN/m² to znači : odredi iz dijagrama slijeganja za prvo opterećenje i ponovljeno opterećenje na slijedećim vrijednostima:

0,15 MN/m² i 0,35 MN/m²

- izračunaj – za prvo opterećenje:

$$E_{v1} = 0,75 \cdot 300 \cdot \frac{0,20}{s_{0,35} - s_{0,15}} \quad (\text{MN/m}^2)$$

- izračunaj – za drugo (ponovljeno) opterećenje:

$$E_{v2} = 0,75 \cdot 300 \cdot \frac{0,20}{s_{0,35} - s_{0,15}} \quad (\text{MN/m}^2)$$

- izračunaj odnos $k = E_{v2} / E_{v1}$ (obično se traži manje od 2,0)

NAPOMENA: norma preferira izračun pomoću rješenja jednadžbi za koeficijente a_0 , a_1 i a_2 , za što treba imati računalo i riješiti sustav jednadžbi s tri nepoznanice iz podataka mjerenja (točka dodatak B) – NORMALNO SE KORISTI I GORNJI POSTUPAK.

Učestalost ispitivanja – 1 pokus / 1000 m² zbijene površine sloja.

Uobičajeno se traži da je zadovoljeno $E_{v2}/E_{v1} \leq 2 - 2,2$.

Zašto je dobro mjeriti E_{v1} i E_{v2} ? Zato što se tijekom prvog opterećenja (E_{v1}) tlo zbija. Ako tlo nije bilo dobro zbijeno onda će modul pri drugom opterećenju (E_{v2}) biti puno veći od E_{v1} . To je znak nedovoljne zbijenosti. Ako je tlo bilo dobro zbijeno, modul E_{v2} će biti veći od E_{v1} ali ne previše. To znači da se u slučaju nedovoljne zbijenosti tla ($E_{v2}/E_{v1} \geq 2 - 2,2$) mogu očekivati dodatne deformacije prometnice pod opterećenjem vozila, što nije dobro jer će dovesti do oštećenja (kolotrazi, slijeganje šina) koja mogu ozbiljno ometati promet. Ako se ispituje samo E_{v1} nije moguće zaključiti da li je tlo imalo kapacitet za dodatno zbijanje ili ne.

Ploča mora imati promjer veći 5 - 6 puta od najvećeg zrna tla koje se ispituje. Zbog toga je potrebno ponekad ispitivati i pločama većeg promjera (do 1,0 m).

Treba znati da dodatno naprezanje koje ploča proizvodi u tlu dopire do najviše 1,5 D (D = promjer ploče). Dakle, mora se paziti kako se interpretiraju podaci i na koji dio tla se odnose ispitivanja.

Ako se ispituje tanki sloj tla (npr. $d = 25$ cm) na tvrdoj podlozi, tada će rezultat pločom $D=300$ mm biti pod utjecajem tvrdog sloja u podlozi tankog sloja. Tada je možda bolje koristiti ploču s $D = 160$ mm.

Nasuprot tome, ako se ispituje deblji sloj (npr. $d = 80$ cm) pločom $D = 300$ mm ispitat će se samo njegova gornja polovica, i to neće biti prosjek svojstva tla u tom sloju. U tom slučaju bolja bi bila ploča $D=600$ mm.

Također, ispitivati pločom $D = 300$ mm kameni nasip (sa zrnima promjera 20 - 30 cm) nema smisla u tom slučaju treba ili povećati promjer ploče ili primijeniti sasvim drugu tehniku ispitivanja modula stišljivosti.

Tablica 2. Propisani kriteriji za materijale na aerodromu Boufarik, Alžir (1987.)

Materijal	ρ_{dmax} [%] Pr Mod.	E_{v2} [MPa]	max E_{v2}/E_{v1}
Podtlo	95	30	2
Nasip	95	50	2
Podložni nosivi sloj (subbase)	98	120	2
Gornji nosivi sloj (base)	100	150	2,2

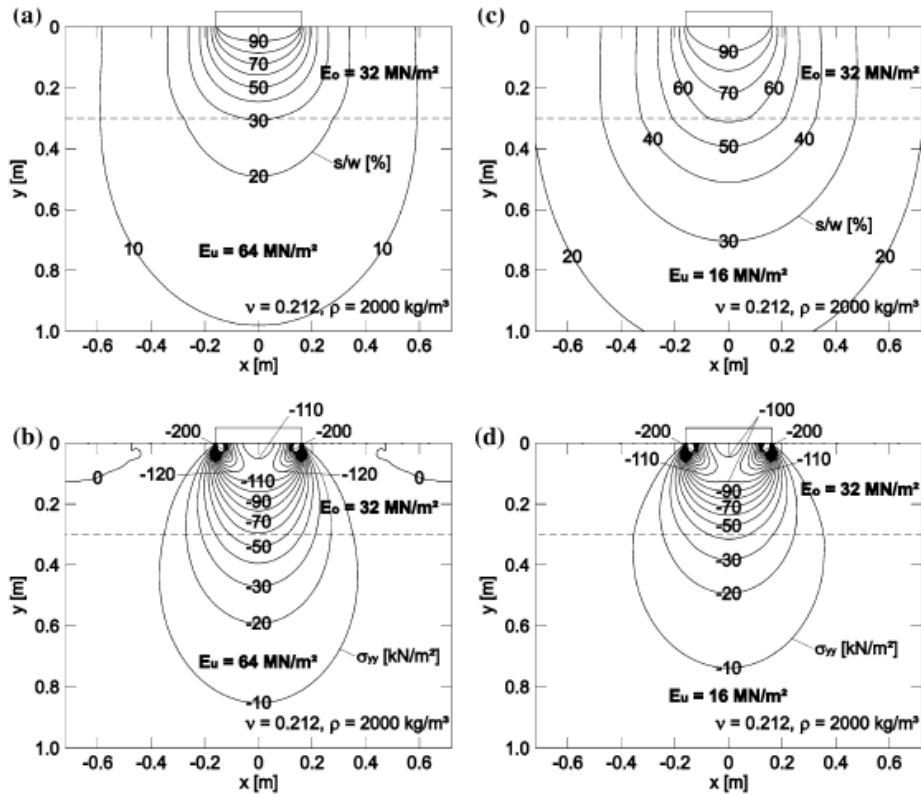


Fig. 6 a Vertical deformation of the subsoil in percent of its maximum amount, layered subsoil: $E_o/E_u = 1/2$. b Corresponding vertical normal stress σ_{yy} . c Vertical deformation of the subsoil in percent of its maximum amount, layered subsoil: $E_o/E_u = 2/1$. d Corresponding vertical normal stress σ_{yy} . Layer thickness $d = 0.30$ m

Slika 7. Numerička analiza pokusa pločom (Adam et all, 2008..) – utjecaj krutosti tla ispod sloja debljine 30 cm (odmah ispod ploče) na raspodjelu opterećenja i deformacija u pokusu pločom 300 mm

Postupak ispitivanja:

Teret (prsten) određene mase kroz čiji centar prolazi šipka, pusti se padati tako da udari u oprugu (spojenu s pločom), čime izaziva akceleraciju srednjeg dijela ploče koju mjeri poseban sensor smješten u tom dijelu. Iz te akceleracije se izračunava pomak ploče. Pokus se izvodi nakon što se pripremi podloga pijeskom i tri puta se ponovi prethodno puštanje tereta, kao priprema podloge. Zatim se izračunava srednji pomak iz tri pokusa padanja.

Potrebno je iskustvo u provedbi pokusa i analizator za interpretaciju pokusa. Pokus traje kratko, oko 5 minuta ukupno.

Usporedba vrijednosti modula E_v (statička ploča) i E_{vd} (dinamička ploča) na temelju numeričkih analiza pokazuje da se E_v i E_{vd} razlikuju (Adam et al, 2008.):

- E_v je elastični Youngov modul kada je $\nu = 0,212$,
- utjecajna dubina dinamičkog pokusa je 50 cm,
- u homogenom tlu $E_{vd} > E_v$, i ta razlika se povećava s debljinom sloja,
- kada je tvrdi sloj nad mekim $E_{vd} > E_v$ za sve debljine sloja,
- kada je sloj mekši od podloge, smanjuje se razlika, a kako se povećava ta debljina sloja E_v postaje veći i preraste E_{vd} .

Primjer mogućih zahtjeva za vrijednosti modula tla određenih različitim postupcima (statička ploča - E_v , ili dinamička ploča E_{vd}) dat je u narednoj tablici - *ovo nije preporuka, samo jedan primjer* -

Reference values for the relation of
Degree of compaction (Proctor) D_{pr}
Dynamic deformation modulus E_{vd}

	Required compaction in different levels of depth (ZTVT StB 95 *) (ZTVE StB 94)	Approximate values for the relation to D_{pr} (ZTVE StB 94 Tab. 8)	1) Suggestion for the relation of E_{vd} to E_{v2} (in accordance with FGSV working group "testing devices", status Okt.96)
sub-layer	Degree of compaction D_{pr}	Deformation modulus E_{v2}	Deformation modulus E_{vd}
DIN 18196	%	MN/m ²	MN/m ²
GW, GI (e.g. stone soil or mineral mixture 0/32)	≥ 103	≥ 120	≥ 60
	≥ 100	≥ 100	≥ 50
	≥ 98	≥ 80	≥ 40
	≥ 97	≥ 70	≥ 35
GE, SE, SW, SI	≥ 100	≥ 80	≥ 40
	≥ 98	≥ 70	≥ 35
	≥ 97	≥ 60	≥ 32
mixed- and fine-grained soils	≥ 100	≥ 45	≥ 25
	≥ 97	≥ 30	≥ 15
	≥ 95	≥ 20	≥ 10

Ispitivanje CPT – korelacije

CPT pokus može se koristiti za ocjenu modula stišljivosti u temeljnom tlu u kojem se može izvesti pokus:

Vrijednosti M_{sz} - modula stišljivosti u koherentnom tlu:

$$M_{sz} = \alpha_n (q_t - \sigma_{vo}) \quad (11)$$

gdje je korištena vrijednost koeficijenta $\alpha_n = 5$ (koeficijent α_n se u većini prekonsolidiranih glina kreće u rasponu od 5 do 15)

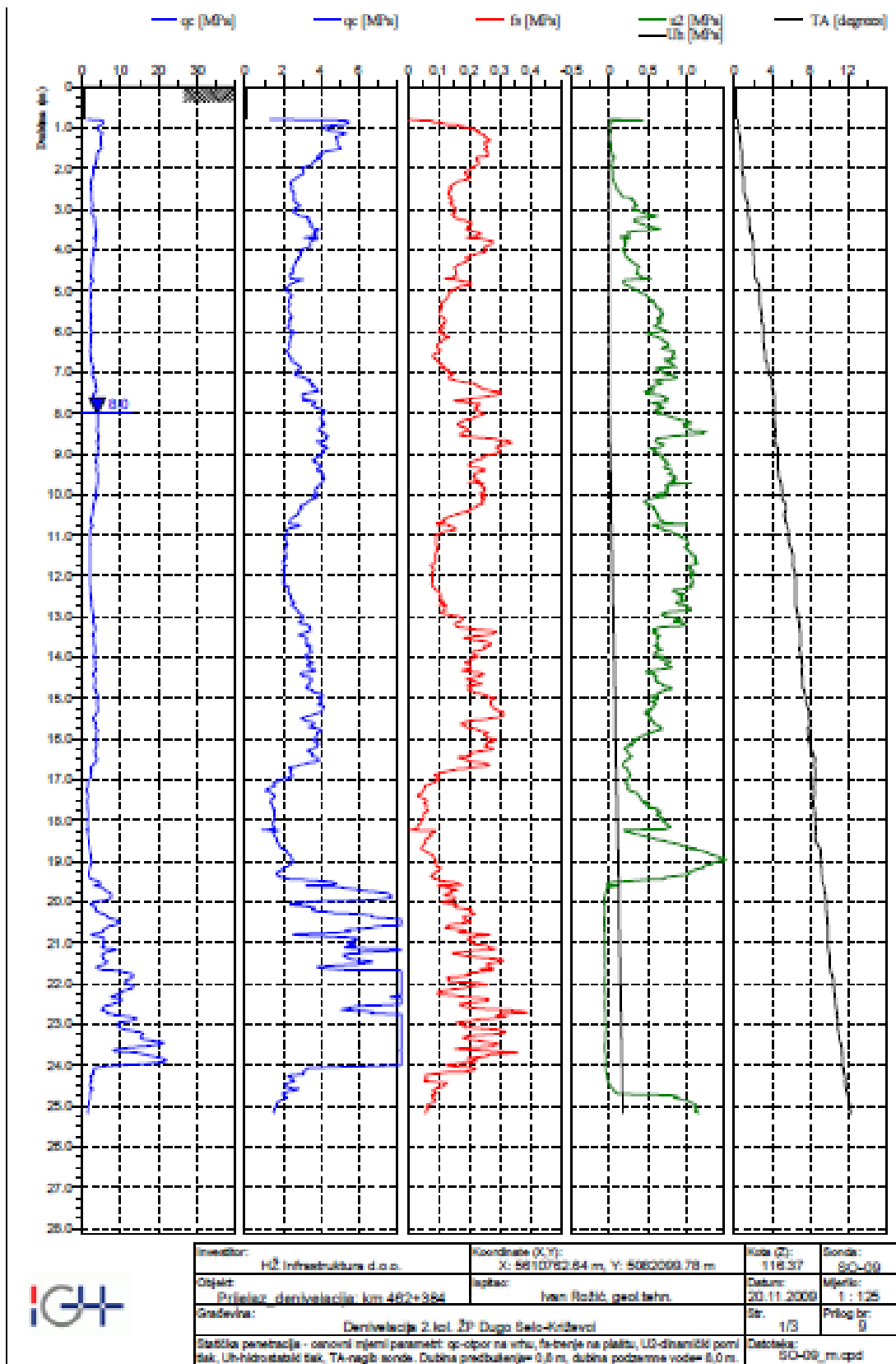
Vrijednosti M_{kz} - modula stišljivosti u nekoherentnom tlu:

$$M_{kz} = 4 q_c \text{ za } q_c < 10 \text{ MPa} \quad (12a)$$

$$M_{kz} = 2q_c + 20 \text{ (MPa) za } 10 \text{ MPa} < q_c < 50 \text{ MPa} \quad (12b)$$

$$M_{kz} = 120 \text{ (MPa) za } 50 \text{ MPa} < q_c \quad (12c)$$

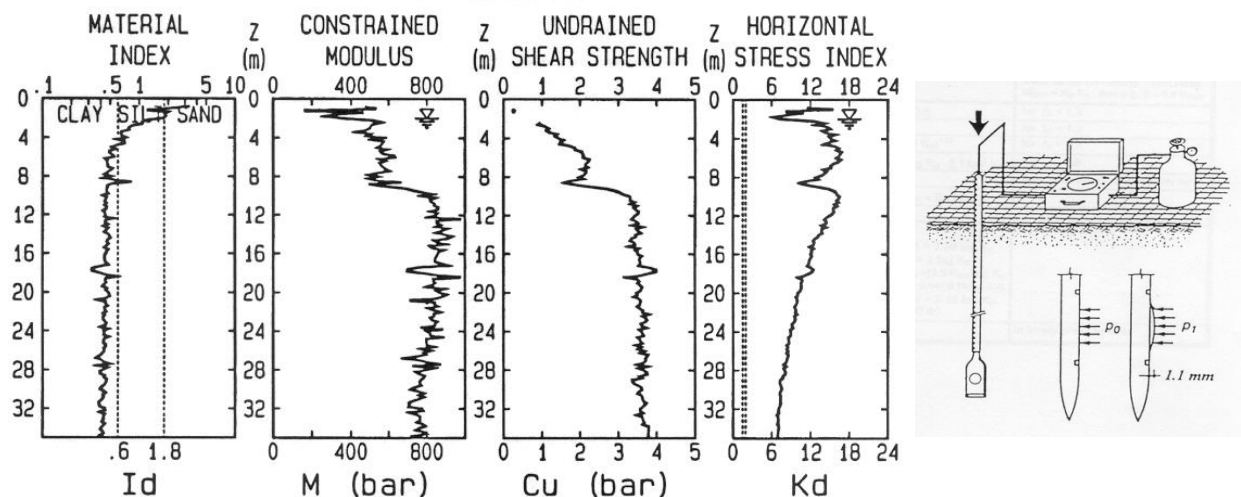
prosječno : $M_v = 3 \times q_c$



Slika 9. Primjer rezultata CPT ispitivanja

Ispitivanje DMT

Interpretacijom mjerenih tlakova (p_0 , p_1) može se iskazati vrijednost modula - tzv. dilatometarskog, ili modula edometarskog.



Slika 10. Primjer rezultata ispitivanja (lijevo), princip ispitivanja dilatometrom (desno)

Dilatometarski modul E_D nema ovisnosti o pornom tlaku in situ, odnosno nivou podzemne vode, što se može vidjeti preko jednadžbe:

$$E_D = E / (1 - \nu^2) = 34.7 (p_1 - p_0),$$

jer se mogući utjecaj gubi preko razlike tlakova p_1 i p_0 (bar).

M_{DMT} je vertikalni tangenti modul (na $\sigma_{VO'}$) i to je modul koji odgovara edometarskom zvanom E_{OED} . M_{DMT} je u relaciji sa E_D preko faktora korekcije R_M , i taj odnos se prikazuje jednadžbom:

$$M_{DMT} = R_M \cdot E_D$$

Faktor korekcije R_M je usko povezan sa dvije veličine: $R_M = f (I_{DMT} , K_{DMT})$, gdje su:

I_{DMT} - indeks materijala, $I_{DMT} = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0)$

K_{DMT} - indeks horizontalnog napona, $K_{DMT} = (p_0 - u_0) / \sigma_{VO'}$

(R_M najčešće varira u području između 1 i 3)

GLINA:(za $I_{DMT} < 0,6$)

$$R_M = 0,14 + 2,36 \log (p_0 / \sigma_{VO'} - u_0 / \sigma_{VO'}),$$

PRAH:(za $0,6 < I_{DMT} < 1,8$)

$$R_M = 0,23 + 2,27 \log (p_0 / \sigma_{VO'} - u_0 / \sigma_{VO'}),$$

PIJESAK:(za $I_{DMT} > 1,8$)

$$R_M = 0,50 + 2,00 \log (p_0 / \sigma_{VO'} - u_0 / \sigma_{VO'}),$$

gdje je: $K_{DMT} = (p_0 / \sigma_{vo}' - u_0 / \sigma_{vo}')$
Korelacije parametara stišljivosti – vidi poseban prilog

Resilient modulus

Taj modul predstavlja elastični modul u cikličkom opterećenju nekoherentnog tla. Može se utvrđivati i za koherentna tla. Ispituje se u troosnom posmiku pri cikličkim opterećenjima.

Taj modul se često koristi u teoretskim razmatranjima slijeganja nosivih slojeva prometnica pod cikličkim (dinamičkim) opterećenjem od prometa i pri dimenzioniranju kolničkih konstrukcija.



Slika 11. Troosna ćelija za ispitivanje resilient modula tla pod cikličkim opterećenjem

Postupak ispitivanja :

- za nekoherentna tla, max zrno 1/10 promjera uzorka
- cikličko opterećenje u trajanju 0,1 s, pa pauza od 0,9 s (ukupno 1 s, kao simulacija prometnog opterećenja), tako 100 puta za svako stanje naprezanja, ponoviti pri različitim naprezanjima (15 pokusa, vidi tablicu)
- rezilijentni modul je omjer cikličkog naprezanja i vertikalne deformacije

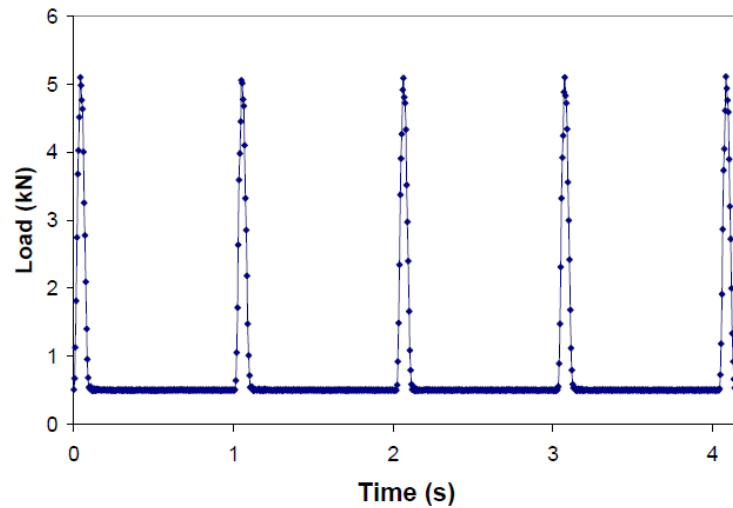


Figure 2.1: LTPP P46 Load History

Table 2.1: LTPP P46 Loading Sequences

Sequence Number	Confining Pressure	Max. Axial Stress	Cyclic Stress	Contact Stress	Load Applications
	kPa	kPa	kPa	kPa	
Conditioning	103.4	103.4	93.1	10.3	500
1	20.7	20.7	18.6	2.1	100
2	20.7	41.4	37.3	4.1	100
3	20.7	62.1	55.9	6.2	100
4	34.5	34.5	31.0	3.5	100
5	34.5	68.9	62.0	6.9	100
6	34.5	103.4	93.1	10.3	100
7	68.9	68.9	62.0	6.9	100
8	68.9	137.9	124.1	1.6	100
9	68.9	206.8	186.1	20.7	100
10	103.4	68.9	62.0	6.9	100
11	103.4	103.4	93.1	10.3	100
12	103.4	206.8	186.1	20.7	100
13	137.9	103.4	93.1	10.3	100
14	137.9	137.9	124.1	13.8	100
15	137.9	275.8	248.2	27.6	100

(prema dokumentu *Small strain and resilient modulus testing of granular soils*, Minnesota Department of Transportation, Report 2004-39, 2004.)

moćna tema diplomskog rada: ispitivanje ploćom i usporedba metoda - pregled literature i analiza podataka sa terena