



## TSC 06.720 : 2003

### MERITVE IN PREISKAVE DEFORMACIJSKI MODULI VGRAJENIH MATERIALOV

---

**Uporaba: ni obvezna**

---

**Pripravi:**

Tehnični odbor za pripravo tehničnih  
specifikacij za javne ceste TO 06.

**Soglasje ministra:**

Soglasje ministra, pristojnega za promet, je bilo  
izdano, dne 31.3. 2003, pod št. 2641-6/2001/26-0403.

Soglasje ministra, pristojnega za graditev, je bilo  
izdano, dne 5.7.2001, pod št. 343-9/98.

---

**Ključne besede:**

Nosilnost, deformacijski modul, modul stisljivosti, modul reakcije tal, vrednost CBR.

---

**Objava izdaje:**

Sporočila - objave, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, št. 9 / 2003.

**Izdajatelj:**

Tehnično specifikacijo za javne ceste je založila in izdala Direkcija Republike Slovenije za ceste.

## VSEBINA

<b>1</b>	<b>Predmet tehnične specifikacije.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Referenčna dokumentacija .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Pomen izrazov .....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Osnove za meritve.....</b>	<b>4</b>
4.1	Fizikalne osnove.....	4
4.1.1	Splošno .....	4
4.1.2	Osnovni postopki meritev .....	4
4.2	Oprema .....	5
4.2.1	Splošno .....	5
4.2.2	Statični deformacijski modul $E_{vs}$ .....	5
4.2.3	Dinamični deformacijski modul $E_{vd}$ .....	6
4.2.4	Modul stisljivosti $M_E$ .....	7
4.2.5	Modul reakcije tal $k_s$ .....	7
4.2.6	Vrednost CBR .....	8
<b>5</b>	<b>Izvajanje meritev.....</b>	<b>8</b>
5.1	Pogoji za izvajanje meritev.....	8
5.2	Postopki pri meritvah.....	8
5.2.1	Priprava površine za meritev.....	8
5.2.2	Postavitev merilne opreme.....	9
5.2.3	Meritve.....	10
<b>6</b>	<b>Izvedenotenje meritev .....</b>	<b>11</b>
6.1	Zapisnik o meritvi .....	11
6.2	Izračun deformacijskih modulov.....	11
6.2.1	Statični deformacijski modul $E_{vs}$ .....	11
6.2.2	Dinamični deformacijski modul $E_{vd}$ .....	12
6.2.3	Modul stisljivosti $M_E$ .....	12
6.2.4	Modul reakcije tal $k_s$ .....	12
6.2.5	Vrednost CBR .....	12

## 1 Predmet tehnične specifikacije

Tehnična specifikacija za ceste TSC 06.720 Meritve in preiskave – Deformacijski moduli vgrajenih materialov določa osnove za meritve ter načine izvajanja in izvedenosti meritev deformacijskih modulov.

Namen meritev deformacijskih modulov je določiti potek in velikost posedanja površine vgrajene plasti zrnatega materiala. Značilnosti posedanja (elastična in plastična komponenta) omogočajo izvedenosti nosilnosti in preveritev stisljivosti ter zgoščenosti vgrajenega materiala.

V cestogradnji so meritve deformacijskih modulov sestavni del kontrole izvedenih zemeljskih del in nevezanih nosilnih plasti voziščnih konstrukcij, deformacijski moduli pa ena od osnov za določanje potrebnih dimenzij voziščnih konstrukcij.

Odvisno od namena uporabe in načina meritev so v cestogradnji uveljavljeni postopki meritev

- statičnih deformacijskih modulov  $E_{vs}$ ,
- dinamičnih deformacijskih modulov  $E_{vd}$ ,
- modulov stisljivosti  $M_E$ ,
- modulov reakcije tal  $k_s$  in
- vrednosti CBR.

## 2 Referenčna dokumentacija

Tehnična specifikacija TSC 06.720 je zasnovana na naslednji referenčni tehnični regulativi:

**BAST – Empfehlungen (E 1)**, Ausführung von Plattendruckversuchen, BAST, Köln, 1968

**BAST – Empfehlungen (E 4)**, Ausführung von Plattendruckgeräten, BAST, Köln, 1969

**BAST – Empfehlungen (E 8)**, Plattendruckversuch mit Hilfe des Benkelman – Balkens für die Erdbaukontrolle (Ein-Uhr-Messverfahren), BAST, Köln, 1970

**DIN 18 134: 1993** Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte, Plattendruckversuch

Siedeck P in R. Voss, **Die Bodenprüfverfahren bei Strassenbauten**, BAST, Werner-Verlag, Düsseldorf, 1966

**SNV 670 316: 1975** Versuche, CBR-Penetrometer, Feldversuch

**SNV 670 318: 1980** Versuche, Schneller  $M_E$  – Versuch

**SNV 70 312: 1959** Versuche, VSS-Gerät ( $M_E$  und CBR)

**SNV 70 317: 1959** Versuche, Plattenversuch

**SNV 70 319: 1972** Versuche, Plattenversuch nach Westergaard

**TP BF-StB: 1992 B 8.3**, Boden /Fels, Prüfung, Dynamischer Plattendruckversuch mit Hilfe des Leichten Fallgewichtsgesetzes

V tehnično specifikacijo TSC 06.720 so z datiranimi in nedatiranimi referencami vključena določila drugih publikacij. Pri datiranih referencah morajo biti poznejša dopolnila ali spremembe upoštevane, če so vključene z dopolnilom ali revizijo. Pri nedatiranih referencah pa velja zadnja izdaja referenčne publikacije.

## 3 Pomen izrazov

V tehnični specifikaciji TSC 06.720 uporabljeni strokovni izrazi imajo naslednji pomen:

**Dinamični deformacijski modul  $E_{vd}$**  (dynamic modulus of deformation, dynamischer Verformungsmodul) je značilna vrednost za deformabilnost materiala pri definirani sunkoviti obremenitvi krožne plošče s padajočo lahko utežjo, določena na osnovi izmerjene amplitude posedka plošče s.

**Modul reakcije tal  $k_s$**  (modulus of subgrade reaction, Bettungsmodul) je značilna vrednost za deformabilnost materiala pri določeni obremenitvi krožne plošče, določena na osnovi nastalega posedka.

**Modul stisljivosti  $M_E$**  (modulus of compressibility, Zusammendrückungsmodul) je značilna vrednost za deformabilnost materiala pri postopnem enkratnem obremenjevanju krožne plošče, določena na osnovi nagiba sekante krivulje posedanja v določenem območju obremenitve.

**Nosilnost** (bearing capacity, Tragfähigkeit) pomeni mehansko odpornost planuma vgrajenega materiala proti (kratkotrajnim) obremenitvam.

**Preskus s ploščo** (plate bearing test, Plattendruckversuch) je postopek preskusa, pri katerem je material s krožno ploščo in ustrezno dodatno opremo obremenjen in razbremenjen; povprečne obremenitve plošče  $p$  in pripadajoči posedki  $s$  določajo krivuljo posedanja (deformacije).

**Statični deformacijski modul  $E_{vs}$**  (static modulus of deformation, statischer Verformungsmodul) je značilna vrednost za deformabilnost materiala pri postopnem večkratnem obremenjevanju krožne plošče, določena na osnovi nagiba sekante krivulje posedanja v določenem območju prve, druge ali tretje obremenitve.

**Vrednost CBR** (California Bearing Ratio, CBR-Wert) je značilna vrednost deformabilnosti materiala pri posedanju pritirnega bata, določena na osnovi obremenitve, ki povzroči vnaprej določen posedek.

**Zgoščenost** (compaction (degree of), Verdichtung (-sgrad)) pomeni doseženo gostoto vgrajenega materiala po zaključenem postopku zgoščevanja.

## 4 Osnove za meritve

### 4.1 Fizikalne osnove

#### 4.1.1 Splošno

V homogenem elastičnem izotropnem polprostoru je posedek  $s$  pod krožno ploščo opredeljen z enačbo:

$$s = \frac{\pi}{2} \cdot (1 - \mu^2) \cdot \frac{p \cdot r}{E}$$

kjer pomeni:

- $\mu$  – Poissonov količnik ( $\mu = 0,5$ )
- $p$  – enakomerna vertikalna obremenitev (normalna napetost  $\sigma$ )
- $r$  – polmer krožne plošče
- $E$  – modul elastičnosti materiala

Modul elastičnosti materiala  $E$  v homogenem polprostoru je v odnosu na deformacijski modul  $E_v$  opredeljen z enačbo:

$$E = \frac{\pi}{3} \cdot (1 - \mu^2) \cdot E_v$$

Na tej osnovi dobi enačba za deformacijski modul  $E_v$  osnovno obliko

$$E_v = \frac{3}{2} \cdot \frac{p \cdot r}{s} = 0,75 \frac{p}{s} \cdot D$$

kjer pomeni:

$D$  – premer krožne plošče

#### 4.1.2 Osnovni postopki meritev

Enačbe za določitev značilnih vrednosti deformabilnosti vgrajenega materiala so za osnovne postopke neposredno privzete ali modificirane osnovne oblike in sicer:

- za **statični deformacijski modul  $E_{vs}$** :

$$E_{vs} = 0,75 \frac{\Delta\sigma}{\Delta s} \cdot D \quad \left[ MN / m^2 \right]$$

kjer pomeni:

- $\Delta\sigma$  – razlika med dvema privzetima stopnjama vertikalne obremenitve ( $=\Delta p$ ) [ $MN/m^2$ ]
- $\Delta s$  – razlika med posedkoma krožne plošče pri spremembi specifične obremenitve za  $\Delta p$  [mm]
- $D$  – premer krožne plošče [mm]

- za **dinamični deformacijski modul  $E_{vd}$** :

$$E_{vd} = 1,5 \cdot r \cdot \frac{\sigma}{s} \quad \left[ MN / m^2 \right]$$

kjer pomeni:

- $\sigma$  – srednja normalna napetost pod ploščo, obremenjeno z maksimalno silo  $F_s$ :

$$\sigma = \frac{F_s}{\pi \cdot r^2} \quad \left[ MN / m^2 \right]$$

- za **modul stisljivosti  $M_E$** :

$$M_E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta s} \cdot D \quad \left[ MN / m^2 \right]$$

- za **modul reakcije tal  $k_s$** :

$$k_s = \frac{\sigma}{s} \quad \left[ MN / m^3 \right]$$

- za vrednost CBR:

$$CBR = \frac{\sigma}{\sigma_s} \cdot 100 \quad [\%]$$

kjer pomeni:

- $\sigma$  – obremenitev za normirano vtisnjenje bata v preiskovani material
- $\sigma_s$  – obremenitev za normirano vtisnjenje bata v standardni material (drobljenec)

## 4.2 Oprema

Merna oprema za določitev posedanja podlage po postopkih s krožno obremenilno ploščo sestoji iz treh osnovnih delov in sicer

- opreme za mehansko obremenitev, tj.
  - toge krožne obremenilne plošče in
  - naprav za obremenitev,
- opreme za meritve posedkov in
- opreme za izvedenost meritvev.

Poleg navedene opreme je pri vseh meritvah s krožno obremenilno ploščo, razen pri dinamičnem deformacijskem modulu, potrebna primerna protiutež.

### 4.2.1 Splošno

Toga krožna obremenilna plošča mora biti iz jekla Je 52.

Izmere plošče so odvisne od postopka za določitev posedanja. Odstopanje izmer plošče od zahtevanih sme znašati največ 1 %.

Spodnja (naležna) površina toge krožne obremenilne plošče mora biti ravna. Srednja hrapavost površine sme znašati največ 6,3  $\mu\text{m}$ . Na zgornji strani plošče mora biti pritrjena dozna libela, ki jo je mogoče postaviti vodoravno na površini plošče, nagnjeni do 7°.

Na plošči morata biti pritrjeni dve prijemki.

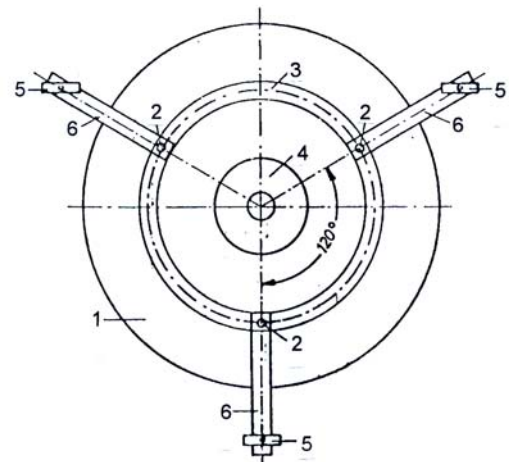
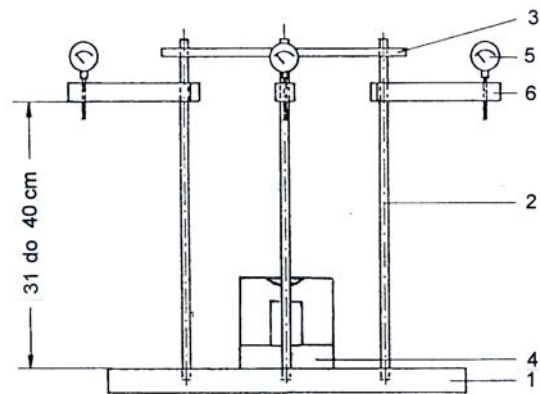
Masa protiuteži, potrebna pri meritvah posedanja po postopkih s togo krožno obremenilno ploščo, mora biti najmanj 1000 kg večja od največje potrebne za meritvev.

### 4.2.2 Statični deformacijski modul $E_{vs}$

Shema dela opreme za določitev statičnega deformacijskega modula  $E_{vs}$  je prikazana na sliki 1.

### 4.2.2.1 Krožna obremenilna plošča

Krožna obremenilna plošča mora imeti premer  $D = 300 \text{ mm}$  in debelino najmanj 25 mm. Na plošči morajo biti pritrjeni trije nastavki za postavitev merilnih uric (2), povezovalni obroč (3) in dodatna podložna plošča (4), spodaj z odprtino za meritve po postopku z eno merilno urico (merilnikom pomika) ter zgoraj s ponvijo za zglob. Za stabilno in centrično postavitev dodatne podložne plošče mora biti na obremenilni plošči ustrezen utor.



Slika 1: Shema krožne obremenilne plošče z opremo za meritve posedkov

### 4.2.2.2 Naprave za obremenitev

Naprave za obremenitev krožne obremenilne plošče morajo omogočiti obremenitev in razbremenitev v stopnjah. Sestojijo iz

- oljne tlačne črpalke z ventilom za nastavitvev pritiska,
- tlačne cevi in
- hidravličnega pritisnega bata.

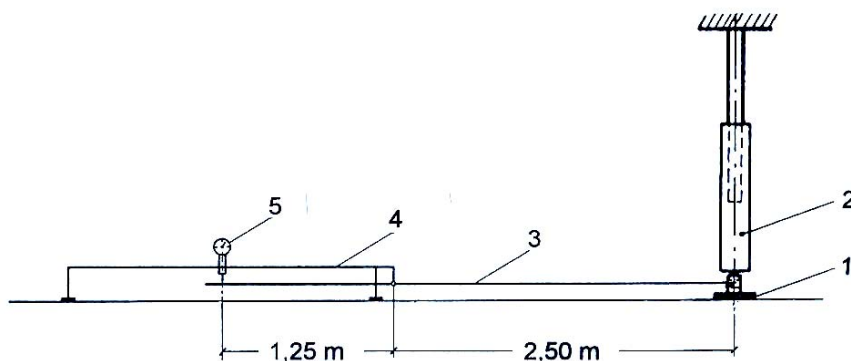
Za brezhiben prenos obremenitve mora biti na pritisni bat (hidravlično tlačilko) obojestransko pritrjen zglob. Po potrebi se pritisni bat z ustreznimi elementi lahko podaljša, vendar največ do 1 m. Hod pritisnega bata mora znašati najmanj 150 mm.

V naprave za obremenitev je treba šteti tudi merilnik za mehanično in/ali električno merjenje obremenitve. Zagotovljena mora biti natančnost meritev z največ 1%-nim odstopanjem.

#### 4.2.2.3 Oprema za meritve posedkov

Oprema za meritve posedkov je odvisna od postopka izvajanja meritev:

- za meritve na treh mestih so potrebne 3 merilne urice (5) z območjem najmanj 10 mm (priporočljivo 20 mm) in natančnostjo odčitka (skalo) 0,01 mm; merilne urice morajo biti na nastavke na plošči (2) pritrjene z ustreznimi ročicami (6) (slika 1), nalegati pa morajo na podstavke, pritrjene na stabilen stativ
- za meritve posedkov na enem mestu, tj. v odprtini na sredini podložne plošče (4) (slika 1), je poleg merilne urice ali električnega merilnika pomika potrebno ustrezno nosilno ogrodje za njuno pritrditev in postavitve (slika 2).



Slika 2: Shema meritve posedkov po postopku z eno merilno urico (z Benkelmanovo gredjo)

Legenda:

- 1 - krožna obremenilna plošča z dodatno podložno ploščo z odprtino za meritve
- 2 - pritisni bat
- 3 - merilna ročica
- 4 - nosilno ogrodje
- 5 - merilna urica

#### 4.2.3 Dinamični deformacijski modul $E_{vd}$

Shema opreme za določitev dinamičnega deformacijskega modula  $E_{vd}$  je prikazana na sliki 3.

##### 4.2.3.1 Krožna obremenilna plošča

Krožna obremenilna plošča (1) mora imeti premer  $D = 300$  mm in debelino 20 mm ali debelino 17 mm in 15 mm. Na plošči mora biti pritrjeno ohišje s senzorjem in čepom (2) za nastavitve vodilnega droga (3).

Masa krožne obremenilne plošče z vsemi pritrjenimi deli, vključno s senzor za meritve posedkov, mora znašati  $15 \text{ kg} \pm 0,25 \text{ kg}$ .

##### 4.2.3.2 Naprave za obremenitev

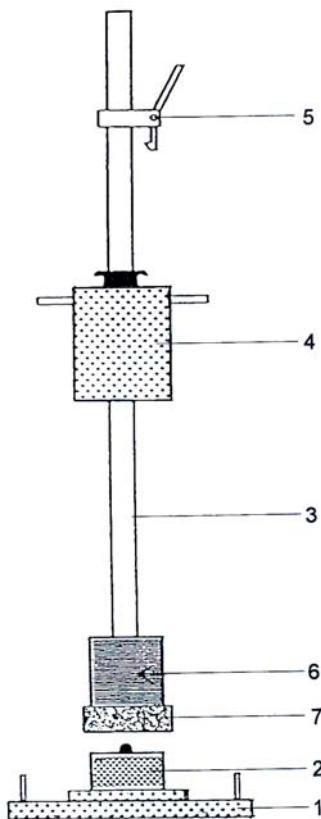
Naprave za obremenitev krožne obremenilne plošče morajo omogočati sunkovito (dinamično) obremenitev.

Sestojijo iz

- vodilnega droga (3), po katerem drsi prosto padajoča utež s prstanastim ročajem (4), nanj pa je pritrjena
- spodaj jeklena krožna vzmet z ohišjem (6) in varovalo proti prevrnitvi (7),
- zgoraj pa zaklop (5).

Naprave za obremenitev morajo ustrezati naslednjim zahtevam:

- masa padajoče uteži (4)  $10 \text{ kg} \pm 0,1 \text{ kg}$
- skupna masa vodilnega droga, vključno jekleno vzmet z ohišjem, varovalo proti prevrnitvi in zaklop  $5 \text{ kg} \pm 0,25 \text{ kg}$
- največja sila sunka  $F_s$   $7,07 \text{ kN}$
- trajanja sunka  $t_s$   $18 \text{ ms} \pm 2 \text{ ms}$



Slika 3: Shema krožne obremenilne plošče z opremo za dinamično obremenitev in meritve posedkov

Elementi vzmetenja in višina pada uteži morajo biti tako nastavljeni, da je v temperaturnem območju od  $0^\circ\text{C}$  do  $40^\circ\text{C}$  zagotovljena zahtevana sila sunka  $F_s$  s točnostjo  $\pm 1 \%$ .

Padajoča utež (iz jekla Je 52) mora biti tako oblikovana, da jo je po odskoku mogoče prestreči. Ob vodilnem drogu (iz poliranega plemenitega jekla) pa mora biti minimalno trenje padajoče uteži trajno zagotovljeno.

#### 4.2.3.3 Oprema za meritve posedkov

Oprema za meritve posedkov sestoji iz

- senzorja z izvodom za priključek, vgrajenega na togi krožni obremenilni plošči in

- elektronskega merilnega instrumenta.

Senzor oziroma merilnik pospeškov mora zagotoviti v temperaturnem območju od  $0^\circ\text{C}$  do  $40^\circ\text{C}$  in v območju frekvenc od 8 Hz do 100 Hz natančnost rezultatov meritev z napako največ 2 %. Točnost merjenja mora znašati za amplitudo posedanja

- v območju od 0,2 mm do 1 mm najmanj  $\pm 0,02 \text{ mm}$ ,
- v območju od 1 do 2 mm pa najmanj  $\pm 2 \%$

Elektronski merni instrument za registriranje podatkov mora biti praviloma napajen iz akumulatorja (NC blok), ki se mora avtomatično polniti. Napetost in preostale značilnosti elektronske opreme za meritve posedkov morajo biti ustrezno usklajene.

#### 4.2.4 Modul stisljivosti $M_E$

##### 4.2.4.1 Krožna obremenilna plošča

Krožna obremenilna plošča mora imeti površino  $200 \text{ cm}^2$  ( $D = 15,96 \text{ cm}$ ) ali  $700 \text{ cm}^2$  ( $D = 29,86 \text{ cm}$ ). V vsem ostalem so zahteve enake, kot so opredeljene v tč. 4.2.2.1.

##### 4.2.4.2 Naprave za obremenitev

Naprave za obremenitev krožne obremenilne plošče pri meritvi modula stisljivosti  $M_E$  so enake, kot so opredeljene v tč. 4.2.2.2.

##### 4.2.4.3 Oprema za meritve posedkov

Oprema za meritve posedkov je enaka, kot je opredeljena v tč. 4.2.2.3.

#### 4.2.5 Modul reakcije tal $k_s$

##### 4.2.5.1 Krožna obremenilna plošča

Krožna obremenilna plošča za meritve modula reakcije tal  $k_s$  mora imeti premer 600 mm ali 762 mm. Na plošči morajo biti radialno-simetrično razporejena rebra za povečanje njene togosti, ki morajo biti na zgornji strani obdelana planparalelno k nalezni površini, tako da je mogoče na njih postaviti krožno ploščo s premerom  $D = 300 \text{ mm}$ . Za njeno centrično postavitve morajo biti na spodnji plošči pritrjeni čepki in po potrebi tudi zapone za pridržanje.

V vsem ostalem so zahteve enake, kot so opredeljene v tč. 4.2.2.1.

#### 4.2.5.2 Naprave za obremenitev

Naprave za obremenitev krožne obremenilne plošče pri meritvi modula reakcije tal  $k_s$  so enake in morajo – ob upoštevanju značilnosti krožne plošče – ustrezati enakim zahtevam, kot je opredeljeno v tč. 4.2.2.2.

#### 4.2.5.3 Oprema za meritve posedkov

Oprema za meritve posedkov mora biti – ob upoštevanju značilnosti krožne plošče – podobna, kot je opredeljena v tč. 4.2.2.3.

### 4.2.6 Vrednost CBR

#### 4.2.6.1 Hidravlični pritisni bat

Hidravlični pritisni bat za določitev vrednosti CBR (pretežno vezljivih zemljin) mora imeti naležno površino 20 cm<sup>2</sup>, s katero neposredno mehansko obremeni merjeno podlago.

Stransko izrivanje zemljine je treba preprečiti s svinčenimi valji z zunanjim premerom 150 mm in notranjim premerom 52 mm ter višino 10 mm, nataknenimi na pritisni bat.

#### 4.2.6.2 Naprave za obremenitev

Naprave za obremenitev so – ob upoštevanju, da je hidravlični pritisni bat neposredno uporabljen za obremenitev merjene podlage – enake, kot so opredeljene v tč. 4.2.2.2.

#### 4.2.6.3 Oprema za meritve posedkov

Pri določanju vrednosti CBR je potrebna pretežno enaka oprema za meritve posedkov, kot je opredeljena v tč. 4.2.2.3.

Priporočljiva je uporaba merilne urice z razdelbo v colah, tako da znaša eno obkroženje kazalnika 1/20 cole (približno 1,25 mm = predpisano vtisnjenje v minuti), kar omogoča, da tečeta kazalnik sekund na štoparici in kazalnik vtisnjenja potisnega bata na merilni urici sinhrono.

## 5 Izvajanje meritev

Izvajanje meritev posedka s togimi krožnimi obremenilnimi ploščami je določeno

- z osnovnimi pogoji za izvajanje meritev in
- z uveljavljenimi postopki za meritve, vključno evidentiranje rezultatov meritev.

### 5.1 Pogoji za izvajanje meritev

Meritve posedkov s togo krožno obremenilno ploščo je mogoče izvajati

- na grobozrnatih materialih,
- na mešanih materialih in
- na vezljivih zemljinah v težkognetni do trdni konsistenci.

Delež zrn velikosti nad 63 mm oziroma nad 1/4 premera plošče sme biti v materialu samo v zanemarljivi količini.

Pri materialih, ki se hitro posušijo, enakozrnatih peskih, zemljinah, ki imajo skorjo ali so na površini trenutno razmeščane ali razmočene, ali na materialih, ki so na kakršenkoli drugačen škodljiv način v zgornjem delu spremenjeni, je treba izvajati meritve s ploščo pod spremenjenim območjem. Gostota preskuševanega materiala mora v največji možni meri ostati nespremenjena.

Pri drobozrnatih zemljinah (melji, gline) je mogoče meritve s ploščo brezhibno izvršiti in izvednotiti, če so v težkognetni do trdni konsistenci. V dvomljivih primerih je treba določiti vsebnost vode v zemljini, ki na rezultat meritve odločilno vpliva, in sicer v različnih globinah do 3 r pod površino merilnega mesta.

Rezultati meritev s ploščo praviloma niso realni oziroma uporabni, če so meritve izvršene na zmrzjenem materialu.

### 5.2 Postopki pri meritvah

Postopek meritve posedka s togo krožno obremenilno ploščo sestoji iz treh značilnih faz:

- priprave površine za meritve
- postavitve merilne opreme
- meritve.

#### 5.2.1 Priprava površine za meritve

Površina za meritve mora biti prilagojena velikosti krožne obremenilne plošče.

Primerno ravnost površine za meritve je treba zagotoviti z ustreznim orodjem (jekleno ravnilo, zidarska žlica, lopatica). Nepovezana (gibljava) zrna materiala je treba odstraniti (pomesti).

V primeru, ko je nagib podlage večji od 5°, je treba zagotoviti za meritve vodoravno površino:



- pri vezljivih zemljinah z odkopom dela vrhnje plasti, odstranitvijo izstopajočih grobih zrn in zapolnitvijo lokalnih jamic s peskom ali mavčno kašo
- pri nevezljivih materialih z vgradnjo plasti/klina peska ali mavčne kaše do višine vodoravne podlage.

Sredino površine za meritev je treba vnaprej določiti z navpičnico pod prijemališčem pritisnega bata na protiuteži.

## 5.2.2 Postavitev merilne opreme

### 5.2.2.1 Meritev statičnega deformacijskega modula $E_{vs}$

Krožna obremenilna plošča mora na vsej naležni površini tesno nalegati na pripravljeno podlago. Morebitne votline je treba zapolniti, manjše neravnine pa je treba izravnati z do nekaj mm debelo plastjo suhega peska srednje zrnivosti ali mavčne kaše.

V primeru uporabe mavčne kaše, ki je primerna samo na nevezljivem materialu, je treba naležno površino krožne obremenilne plošče namazati z oljem.

Ploščo je treba nato v čimbolj vodoravni legi položiti na pripravljeno podlago ter z zasuki (okoli navpične osi) in rahlimi udarci po njej vtisniti v pesek oziroma mavčno kašo, tako da ne ostane med njo in podlago nobena votlina.

Ob robovih obremenilne plošče iztisnjeno mavčno kašo je treba pred otrditvijo odrezati z lopatico.

Mavčna kaša mora pred pričetkom meritve otrdeti. To je mogoče preveriti s spremljanjem nabrekanja mavca, ki po otrditvi preneha, ali pa s preskusom z zarezanjem z nožem v odrezano mavčno kašo.

Pritisni bat je treba nato postaviti na sredino obremenilne plošče pod protiutež in zavarovati proti prevrnitvi. Razmik med obremenilno ploščo in protiutežjo mora znašati najmanj 75 cm.

Stativ ali drugačno nosilno ogrodje za meritve posedkov pod krožno obremenilno ploščo mora biti postavljeno tako, da nalegajo stojišča izven vpliva protiuteži ter izven vpliva od in na krožno obremenilno ploščo (najmanj 50 cm).

Merilne urice morajo biti postavljene pravokotno na merjeno površino in tako, da so dobro čitljive.

V sklopu postavitve merilne opreme je tudi kratkotrajna predobremenitev krožne obremenilne plošče (približno 30 s z  $0,01 \text{ MN/m}^2$ ). Šele nato je treba nastaviti merilne urice ali merilnik pomika za ničelni odčitek.

Po potrebi se zaščiti postavljeno merilno opremo pred vplivi vremena (sonce, veter).

Postavljena merilna oprema kot tudi protiutež med postopkom meritev ne smeta biti izpostavljena tresljajem.

### 5.2.2.2 Meritev dinamičnega deformacijskega modula $E_{vd}$

Postopek priprave površine za meritev dinamičnega deformacijskega modula je enak opisanemu pod tč. 5.2.2.1, s tem, da je za zapolnitev votlin treba uporabiti suh pesek srednje zrnivosti.

Na postavljeno krožno obremenilno ploščo mora biti centrično in navpično postavljen vodilni drog z vsemi deli za izvajanje meritev.

Za zagotovitev tesnega naleganja krožne obremenilne plošče je treba na merilnem mestu izvršiti predobremenitev s tremi sunki z določene (umerjene) višine prosto padajoče uteži. Utež je treba po vsakem sunku (odboju) uloviti. Šele po tem mora biti vključena oprema za meritve posedkov.

### 5.2.2.3 Meritev modula stisljivosti $M_E$

Postopek postavitve merilne opreme za meritev modula stisljivosti je enak opisanemu pod tč. 5.2.2.1.

Za zagotovitev tesnega naleganja krožne obremenilne plošče jo je treba predobremeniti z  $0,02 \text{ MN/m}^2$ , v kar je vključena tudi sila teže plošče in pritisnega bata.

### 5.2.2.4 Meritev modula reakcije tal $k_s$

Postopek priprave površine za meritev modula reakcije tal je enak opisanemu pod tč. 5.2.2.1.

Razmik med krožno obremenilno ploščo in protiutežjo mora znašati:

- pri plošči s premerom  $D = 600 \text{ mm}$  najmanj 1,10 m
- pri plošči s premerom  $D = 762 \text{ mm}$  najmanj 1,30 m

Za meritve modula reakcije tal je praviloma treba uporabiti togo krožno obremenilno ploščo s premerom  $D = 762$  mm.

Za zagotovitev tesnega naleganja krožne obremenilne plošče jo je treba predobremeniti z  $0,01$  MN/m<sup>2</sup>, v kar je vključena tudi sila teže plošče in pritisnega bata. Predobremenitev mora trajati, dokler v zadnji minuti razlika med posedkoma ni večja od  $0,05$  mm.

### 5.2.2.5 Meritev vrednosti CBR

Za krožno naležno površino pritisnega bata  $20$  cm<sup>2</sup> in svinčene valje ob njem je treba zagotoviti primerno ravnost površine za meritev z ustreznim orodjem, v določenih izjemnih primerih zapolnitev votlin s suhim peskom srednje zrnavosti.

Teža svinčenih valjev, vgrajenih za zaščito proti stranskemu izrivanju zemljine, mora biti podobna teži voziščne konstrukcije, ki bo zgrajena nad merjeno površino.

Z ustreznim stativom ali drugim nosilnim ogrodjem in pritrditvami mora biti zagotovljena možnost meritev posedkov z eno merilno urico.

### 5.2.3 Meritve

Največja obremenitev pri meritvi in/ali največji posedek, ki naj bi bil dosežen, sta odvisna od cilja preskusa kot tudi od značilnosti materiala in velikosti krožne obremenilne plošče.

Če so posedanja neobičajna, npr. močno nagibanje obremenilne plošče, je treba odkopati material v območju pod obremenilno ploščo do globine, ki je enaka premeru obremenilne plošče in ugotovitve evidentirati.

#### 5.2.3.1 Meritev statičnega deformacijskega modula $E_{vs}$

Pri določanju statičnega deformacijskega modula s togo krožno obremenilno ploščo mora obremenitev toliko časa naraščati, da je

- doseženega do  $2$  mm posedka ali
- normalna napetost pod ploščo do  $0,5$  MN/m<sup>2</sup>.

Meritev je treba prekiniti že pri manjši obremenitvi oziroma že pri manjšem posedku, če je pri povečevanju obremenitve opazno prekomerno preoblikovanje, ki nakazuje porušitev vgrajenega materiala.

Obremenitev mora biti izvršena v najmanj šestih stopnjah s približno enako razliko med njimi. Če se med preskusom ugotovi, da so prvotno izbrani intervali med obremenilnimi stopnjami preveliki ali premajhni, jih je treba ustrezno spremeniti.

Prehod z ene obremenilne stopnje na drugo mora biti praviloma izvršen v eni minuti.

Pri obremenjevanju kot tudi pri razbremenjevanju sme biti izvedena naslednja obremenilna stopnja šele, ko razlika posedkov (na posamezni merilni urici) v zadnji minuti meritve ni večja od  $0,02$  mm. Obremenitev na obremenilni stopnji mora biti konstantna.

Pri meritvah s tremi merilnimi uricami je treba odčitati prvo  $10$  sekund pred iztekom časa čakanja. Paziti pa je treba, da narašča obremenjevanje plošče po prvem odčitku vedno v enakih časovnih presledkih.

Če je bila pri obremenjevanju plošča pomotoma bolj obremenjena, kot je bilo načrtovano, obremenitve ni dovoljeno zmanjšati; potrebno pa je to zabeležiti.

Obremenilne stopnje morajo praviloma znašati:

- na vezljivi zemljini	$0,02$ do $0,03$ MN/m <sup>2</sup>
- na mešanem materialu	$0,03$ do $0,04$ MN/m <sup>2</sup>
- na gramozu in prodcu	$0,05$ do $0,06$ MN/m <sup>2</sup>
- na drobljencu	$0,06$ do $0,07$ MN/m <sup>2</sup>

Krožno obremenilno ploščo je treba razbremeniti v treh stopnjah: na  $50$  %,  $25$  % in  $0$  % največje obremenitve. Po popolni razbremenitvi je treba izvršiti ponovni cikel obremenjevanja, vendar samo do predzadnje obremenilne stopnje pri prvem ciklusu obremenitve.

#### 5.2.3.2 Meritev dinamičnega deformacijskega modula $E_{vd}$

Po vključitvi opreme za meritev posedkov je treba izvršiti obremenitev s tremi sunki (udarci) padajoče uteži. Amplituda posedanja mora biti izmerjena z natančnostjo najmanj  $\pm 0,02$  mm. Pri tem je treba skrbno paziti, da je kalibrirana višina prostega padca uteži vedno zagotovljena in da je utež po odboju vedno ulovljena.

#### 5.2.3.3 Meritev modula stisljivosti $M_E$

Z enakomernim naraščanjem obremenitve krožne obremenilne plošče je treba ustvariti pritisk za prvo stopnjo, tj.  $0,05$  MN/m<sup>2</sup> (odčitek na manometru mora znašati  $0,05$  MN/m<sup>2</sup> – pritisk zaradi lastne teže).

Ko je obremenitev za to stopnjo dosežena, je treba odčitati posedke na merilnih uricah in sicer pri meritvah

- na vezljivih zemljinah po 3., 6., 9. itd. minutah oziroma
- na nevezljivih materialih po 2., 4., 6., 8. itd. minutah

in jih evidentirati.

Z obremenjevanjem za naslednjo stopnjo je mogoče pričeti, ko posedek po 3. oziroma po 2. minutah znaša manj kot 0,05 mm.

Čas obremenjevanja, ki je bil potreben pri prvi stopnji obremenjevanja (npr. 9 minut), mora biti tudi pri vseh naslednjih stopnjah.

Uporabiti je treba naslednje stopnje obremenjevanja:

- na temeljnih tleh in nasipih v stopnjah po 0,05 MN/m<sup>2</sup> do končne obremenitve 0,25 MN/m<sup>2</sup>
- na posteljici v stopnjah po 0,1 MN/m<sup>2</sup> od 0,05 MN/m<sup>2</sup> do končne obremenitve 0,45 MN/m<sup>2</sup>
- na nevezani nosilni plasti v stopnjah po 0,1 MN/m<sup>2</sup> od 0,05 MN/m<sup>2</sup> do končne obremenitve 0,55 MN/m<sup>2</sup>.

#### 5.2.3.4 Meritve modula reakcije tal $k_s$

Predobremenitev toge krožne obremenilne plošče 0,01 MN/m<sup>2</sup> mora biti zagotovljena toliko časa, da sprememba posedanja v zadnji minuti ni večja od 0,02 mm. Naslednje stopnje obremenjevanja so 0,04 MN/m<sup>2</sup>, 0,08 MN/m<sup>2</sup>, 0,14 MN/m<sup>2</sup> in 0,20 MN/m<sup>2</sup>. Pri vsaki stopnji obremenjevanja je treba počakati, dokler se posedanje ne zmanjša pod 0,02 mm/min. Zato so potrebni odčitki posedanja vsako minuto. Pri razbremenjevanju zadostuje ena vmesna stopnja pri 0,08 MN/m<sup>2</sup>.

#### 5.2.3.5 Meritve vrednosti CBR

Skrozi odprtino, tj. položene svinčene valje, je treba postaviti potisni bat in ga obremeniti z 0,1 MN/m<sup>2</sup> ter razbremeniti, tako da se naležna površina dotika podlage. Nato je treba potisni bat vtiskati v podlago z enakomerno hitrostjo 1,27 mm/minuto. Do globine 2,54 mm je treba odčitati pritisk vsakih 30 sekund. Naprej do globine 5,08 mm je treba odčitati pritisk vsako minuto.

## 6 Izvrednotenje meritev

### 6.1 Zapisnik o meritvi

Za zagotovitev potrebnih značilnih podatkov o meritvi mora biti voden zapisnik, ki praviloma mora vsebovati podrobne podatke

- o merilnem mestu in
- o medsebojni odvisnosti stopnjevanja obremenitve in nastalih posedkih pod togo krožno obremenilno ploščo oziroma pritisnim batom.

Potrebni podatki o merilnem mestu so predvsem naslednji:

- točna lokacija
- vrsta materiala v podlagi
- vremenske razmere, temperatura
- datum in čas meritve
- posebnosti

Poleg navedenih podatkov morajo biti v zapisniku navedene tudi značilnosti postopka (premer obremenilne plošče, način meritev).

Za vsako stopnjo obremenitve morajo biti v zapisniku evidentirani vsi posedki, tj. odčitki na merilnih uricah ali drugačni uporabljeni opremi za meritve posedkov, in izvrednotene povprečne vrednosti posedkov pri določeni stopnji obremenitve.

Posedki pri posameznih stopnjah obremenitve in potek posedanja mora biti na pregledu način prikazan praviloma tudi v grafični obliki.

### 6.2 Izračun deformacijskih modulov

#### 6.2.1 Statični deformacijski modul $E_{vs}$

Osnova za izračun statičnega deformacijskega modula  $E_{vs}$  je enačba, navedena v tč. 4.1.2:

$$E_{vs} = 0,75 \cdot \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot D \quad \left[ \text{MN/m}^2 \right]$$

Za oceno nosilnosti podlage je treba po tej enačbi izvrednotiti statični deformacijski modul  $E_{vs2}$ , za oceno zgoščenosti materiala pa tudi statični deformacijski modul  $E_{vs1}$  oziroma razmerje modulov  $E_{vs2}/E_{vs1}$ .

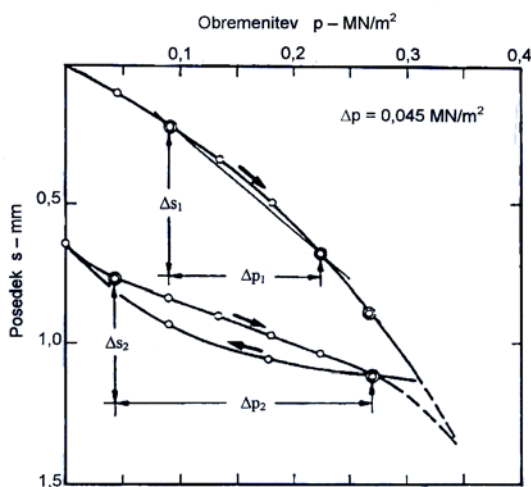
Vrednosti  $\Delta s$  je praviloma treba določiti v območju enakomernega poteka posedanja podlage pri obremenjevanju v stopnjah. Pretežno je to območje

- pri prvi obremenitvi med 2. in 5. stopnjo in
- pri drugi obremenitvi med 2. in 6. stopnjo.

Na primeru na sliki 4 so prikazane vrednosti za izračun deformacijskih modulov:

$$E_{vs1} = 0,75 \cdot \frac{\Delta p_1}{\Delta s_1} \cdot D \quad [MN/m^2]$$

$$E_{vs2} = 0,75 \cdot \frac{\Delta p_2}{\Delta s_2} \cdot D \quad [MN/m^2]$$



Slika 4: Diagram posedkov krožne obremenilne plošče »s« v odvisnosti od obremenitve »p«

Navedene mejne vrednosti posedkov  $s$  in obremenitev  $p$  je tudi mogoče povzeti neposredno iz zapisnika o meritvi.

### 6.2.2 Dinamični deformacijski modul $E_{vd}$

Z dinamično silo sunka  $F_s \cong 7$  kN je krožna obremenilna plošča s polmerom  $r = 150$  mm in s površino  $700$  cm<sup>2</sup> obremenjena z normalno napetostjo  $\sigma = 0,1$  MN/m<sup>2</sup>. Po osnovni enačbi za dinamični deformacijski modul (tč. 4.1.2)

$$E_{vd} = 1,5 \cdot r \cdot \frac{\sigma}{s} \quad [MN/m^2]$$

oziroma

$$E_{vd} = 22,5/s \quad [MN/m^2]$$

je z elektronskim merilnim instrumentom, ki z dvakratno integracijo izmerjenega pospeška

izvrednoti maksimalni posedek, neposredno izvrednotena tudi vrednost dinamičnega deformacijskega modula  $E_{vd}$ . Za oceno je merodajna povprečna vrednost treh preskusov.

### 6.2.3 Modul stisljivosti $M_E$

V osnovni enačbi za določitev modula stisljivosti (tč. 4.1.2)

$$M_E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta s} \cdot D \quad [MN/m^2]$$

je treba upoštevati vrednosti  $\Delta s$ , ugotovljene v naslednjih območjih obremenitev  $\Delta \sigma$ :

- na temeljnih tleh in nasipih med 0,05 in 0,15 MN/m<sup>2</sup>,
- na posteljici med 0,15 in 0,25 MN/m<sup>2</sup>,
- na nevezani nosilni plasti med 0,25 in 0,35 MN/m<sup>2</sup>.

### 6.2.4 Modul reakcije tal $k_s$

Iz diagrama posedanja je treba določiti napetost  $\sigma_o$ , ki ustreza srednjemu posedku  $s = 1,25$  mm (slika 5).

Modul reakcije tal  $k_s$  je treba določiti po osnovni enačbi (tč. 4.1.2).

$$k_s = \frac{\sigma_o}{s} = \sigma_o / 0,00125 \quad [MN/m^3]$$

Ovisno od poteka krivulje posedanja je v primeru potrebe s tangento na prevoju popraviti izhodišče posedanja.

### 6.2.5 Vrednost CBR

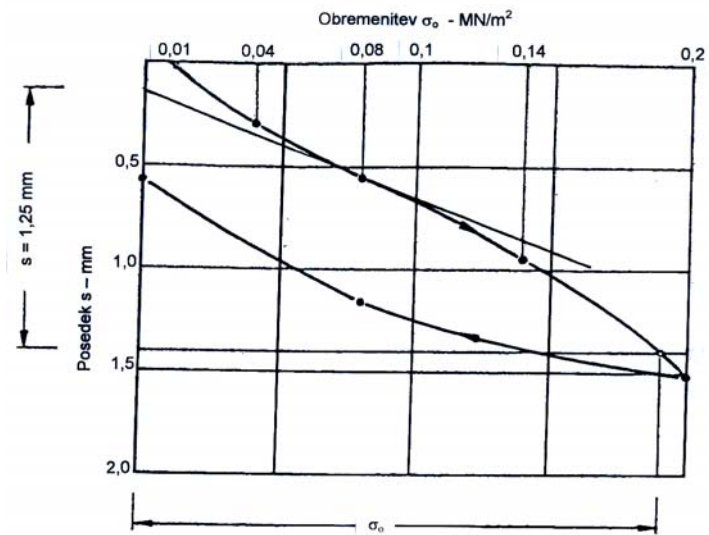
Z vrednostmi obremenitev  $\sigma$ , izmerjenimi za vtisnjenje pritisnega bata do normirane globine 2,54 mm oziroma 5,08 mm, in standardiziranimi vrednostmi za drobljenec  $\sigma_s$  je treba določiti vrednosti CBR po osnovni enačbi (tč. 4.1.2):

$$CBR = \frac{\sigma}{\sigma_s} \cdot 100 \quad [\%]$$

Merodajna je manjša vrednost CBR.

V primeru, da poteka krivulja posedanja v začetku obremenjevanja konkavno, je treba s tangento na prevoju popraviti izhodišče posedanja.





Slika 5: Diagram tlačne napetosti » $\sigma_0$ « pod krožno obremenilno ploščo v odvisnosti od privzetega posedka » $s$ «

Ljubljana, april 2003