

5. NAPONI I DEFORMACIJE

Klasifikacija tla i poznavanje osnovnih pokazatelja fizičkih osobina tla je potrebno ali ne i dovoljno da bi se rešio najveći broj zadataka Mehanike tla. Opterećenja tla koja nastaju izgradnjom objekata izazivaju u tlu promenu početnih nivoa napona i deformacija koja se moraju u dovoljnoj meri poznavati da bi se osigurala stabilnost i nosivost kako konstrukcije objekta tako i tla ispod njega. Zato je neophodno poznavanje mehaničkih (inženjerskih) osobina tla.

5.1 Princip efektivnih napona

Tlo se sastoji od zrna različitih veličina i oblika između kojih se nalaze intergranularne pore koje mogu biti ispunjene vodom ili vazduhom. Usled opterećenja npr. izgradnjom objekta, u njemu se menjaju početni geostatički naponi i dolazi do promene zapremine tla. U slučaju potpuno zasićenog tla jedan deo opterećenja prima voda pornim pritiskom koji predstavlja komponentu totalnog napona i koji ima isti intenzitet u svim pravcima, dok drugi deo opterećenja prima granularni skelet tla efektivnim naponima preko sila na kontaktima između zrna.

Princip efektivnih napona je najvažniji fundamentalni princip Mehanike tla, koji važi za zasićeno tlo a koji je prvi formulisao Terzagij (1936). Formuliše se sa dva osnovna stava:

I stav: Efektivni normalni napon jednak je razlici totalnog napona i pornog pritiska

$$\sigma' = \sigma - u$$

gde je:

σ - totalni napon

u - porni pritisak

II stav: Svi merljivi efekti promene napona, kao što su promena zapremine, promene oblika i promena smičuće čvrstoće zavise isključivo od efektivnih napona.

$$\text{promena zapremine} = f_1(\sigma')$$

$$\text{smičuća čvrstoća} = f_2(\sigma')$$

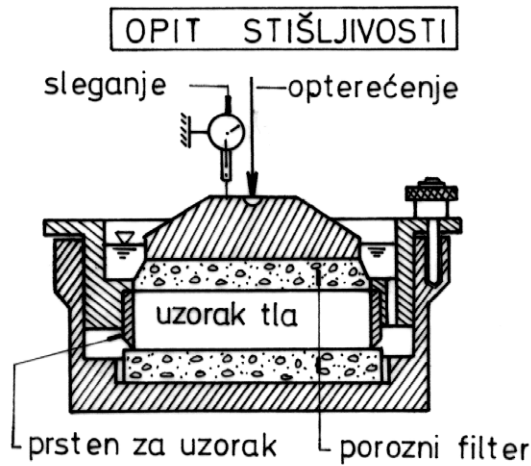
5.2 Stišljivost (SRPS U.B1.032;1969)

Stišljivost je osobina tla da smanjuje zapreminu pri povećanju efektivnih napona. Promena naponskog stanja u prvom trenutku dovodi do promene pornog pritiska bez promene zapremine ne utičući na efektivne napone. Dolazi do promene oblika elementa tla odnosno distorzijskih deformacija što ima za posledicu trenutno sleganje tla. U zoni povećanog pornog pritiska ispod opterećene površine stvara se razlika potencijala i gradijenta pornog pritiska što izaziva kretanje vode u tlu u skladu sa Darsijevim zakonom. Ovo dovodi do opadanja pornih pritisaka, povećanja efektivnih napona i smanjenja zapremine na račun istisnute vode iz pora. Ovaj proces se naziva konsolidacija. Posledica ovog procesa je sleganje tla koje se naziva konsolidaciono sleganje.

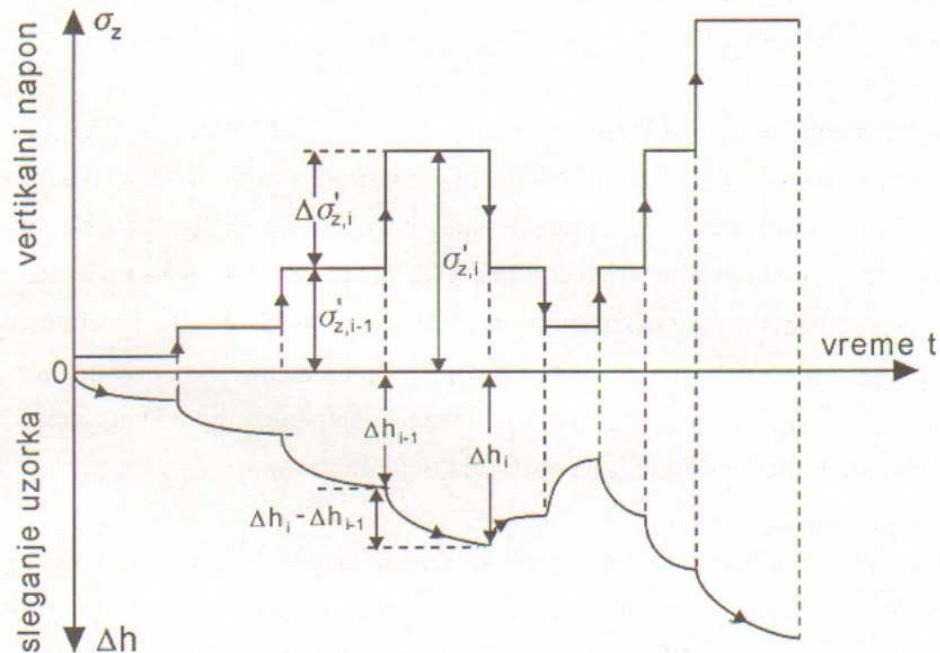
Beleške:

5.2.1 Određivanje stišljivosti tla (SRPS U.B1.032;1969)

Opit stišljivosti izvodi se u aparatu koji se naziva *edometar*, Slika 5.1. U edometru se meri promena (smanjanje) visine (Δh) niskog cilindričnog uzorka uz porast opterećenja u raznim vremenskim intervalima. Pri tom bočna deformacija je sprečena.



Porozne pločice na bazama uzorka omogućavaju evakuaciju vode u procesu konsolidacije, dok se promena zapremine registruje merenjem promene visine uzorka. Opterećenje se nanosi stepenasto, Slika 5.2, gde se u početnom stanju uzorak se opterećuje malim naponom od oko 5 kPa do 10 kPa koji obezbeđuje kontakt između ploče za opterećivanje, poroznih pločica i uzorka. Uobičajeno je da je odnos veličina vertikalnih napona između dve susedne stepenice opterećenja oko 2, gde svaka stepenica opterećenja traje 24 časa.



Slika 5.2 Nanošenje opterećenja i deformacije u opitu stišljivosti

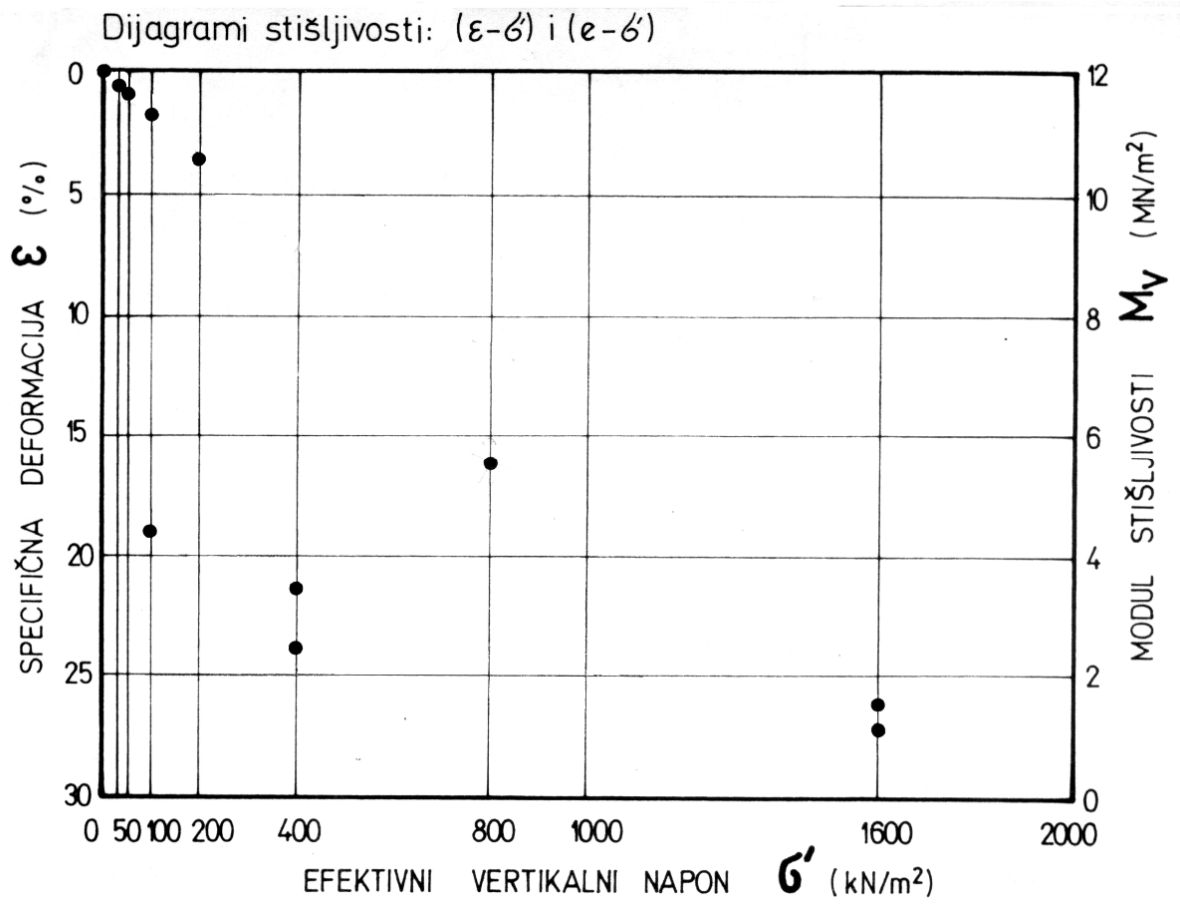
Beleške:

Zadatak 5.1 Sondažnim bušenjem tla, sa dubine od 7 m izvađen je neporemećen uzorak. Na osnovu dijagrama stišljivosti ($\sigma'-e$) ispitanog uzorka, potrebno je nacrtati funkciju tangentnog modula stišljivosti $M_v = d\varepsilon/d\sigma$ u intervalu napona $\sigma'=400-1600$ kPa i izračunati sekantni modul stišljivosti $M_v = \Delta\sigma/\Delta\varepsilon$ pri povećanju napona od $\sigma'_{vo} = 109.88$ kPa do $\sigma' = \sigma'_{vo} + \Delta\sigma = 300$ kPa.

Opterećenje $\sigma'=200$ kN/m ²					Opterećenje $\sigma'=400$ kN/m ²				
datum	vreme (t)		\sqrt{t} (min)	$\Sigma\Delta H_i$ (cm)	datum	vreme (t)		\sqrt{t} (min)	$\Sigma\Delta H_i$ (cm)
	h	min				h	min		
10.11.1987. godine		1	1	0.0532	11.11.1987. godine		1	1	0.1135
		4	2	0.0580			4	2	0.1244
		9	3	0.0620			9	3	0.1335
		16	4	0.0657			16	4	0.1419
		25	5	0.0692			25	5	0.1498
		36	6	0.0725			36	6	0.1573
	1	04	8	0.0782		1	04	8	0.1702
	1	40	10	0.0827		1	40	10	0.1804
	6	40	20	0.0882		6	40	20	0.1928
	15	00	30	0.0900		15	00	30	0.1970
	24	00	38	0.0908		24	00	38	0.1989

σ' (kN/m ²)	$\Sigma\Delta H_i$ (cm)	H_i (cm)	$\Delta\varepsilon$ (%)	ε (%)	M_v (MN/m ²)	Δe	e
0	0.0000	2.4700	0.417	0	6.0	0.008	0.866
25	0.0103	2.4597	0.439	0.417	5.7	0.008	0.858
50	0.0211	2.4489	0.902	0.856	5.5	0.017	0.850
100	0.0432	2.4268	1.961	1.758	5.1	0.036	0.833
200	0.0908	2.3792		3.720			0.797
400							
800	0.3882	2.0818	9.641		8.3	0.152	0.573
1600	0.5889	1.8811	-2.228	26.240	-53.9	-0.032	0.421
400	0.5470	1.9230	-4.858	24.012	-6.2	-0.071	0.453
100	0.4536	2.0164	2.182	19.155	13.7	0.033	0.523
400	0.4976	1.9724	6.023	21.337	19.9	0.090	0.490
1600	0.6164	1.8536		27.360			0.400

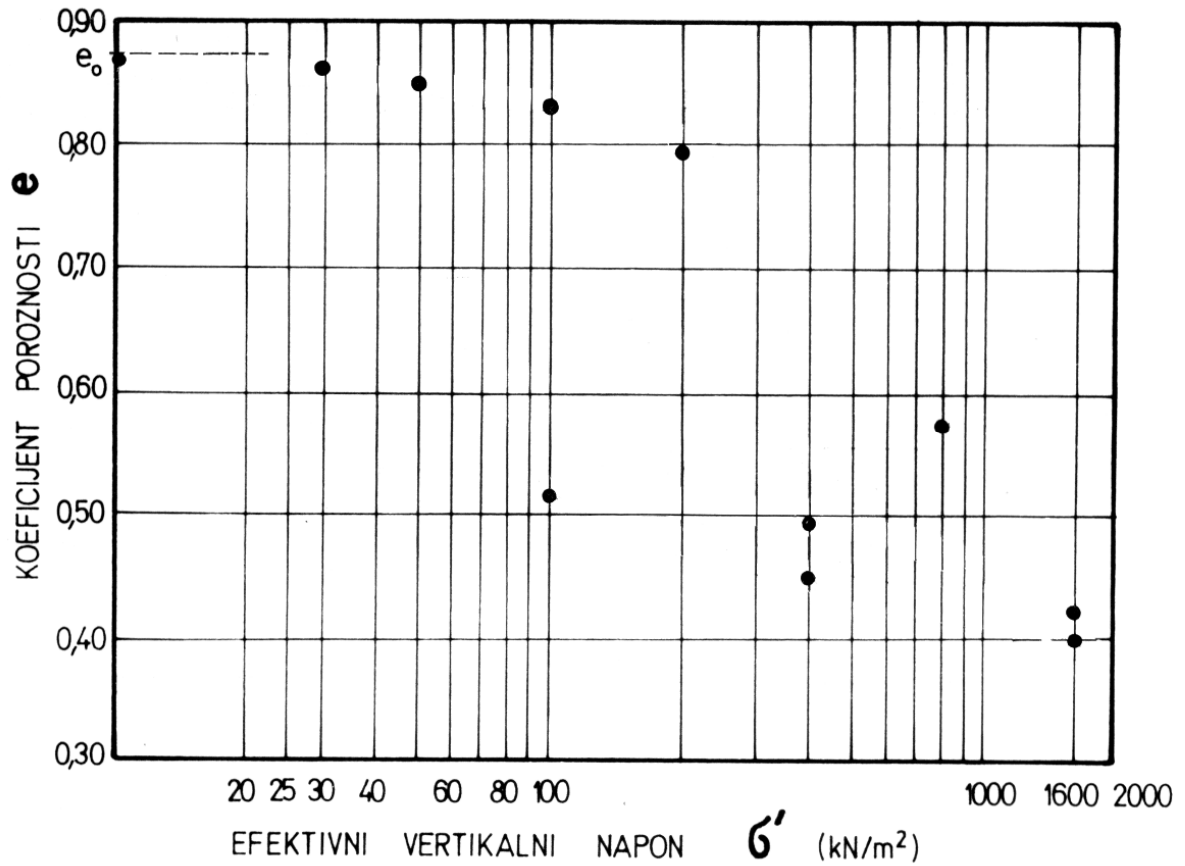
Beleške:



Beleške:

Zadatak 5.2 Na osnovu dijagrama stišljivosti $e=f(\sigma')$, potrebno je odrediti:

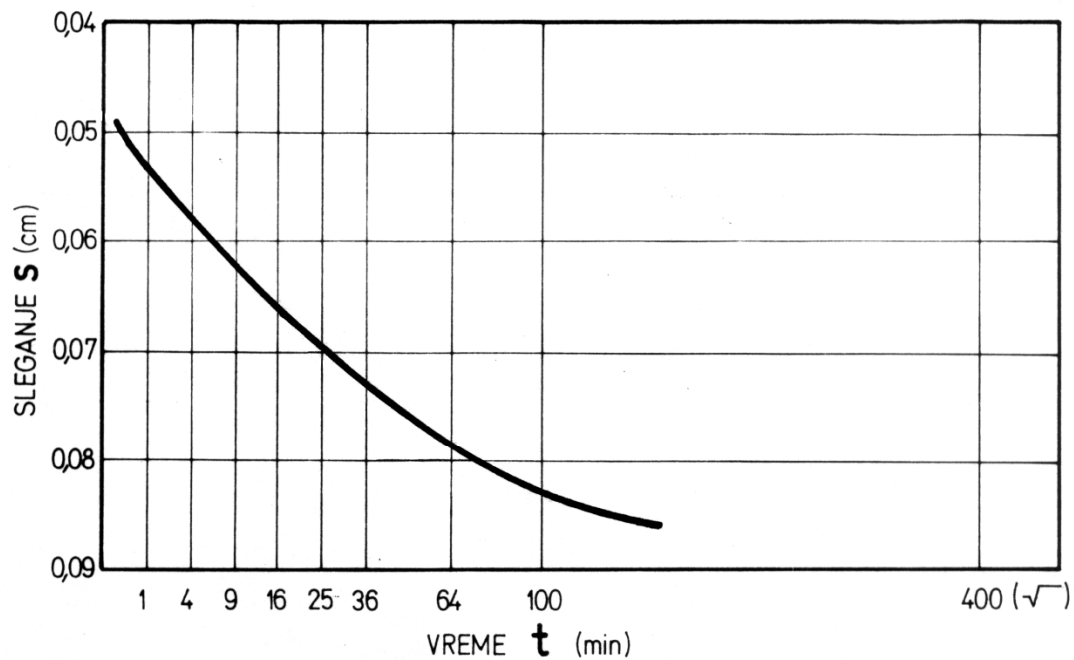
- pritisak prekonsolidacije po Casagrande-u
- stepen prekonsolidacije $OCR=\sigma_p'/\sigma_{vo}'$
- indeks stišljivosti - kompresije (c_c)
- indeks bubrenja (c_s)
- indeks rekompresije (c_r)
- indeks sekundarne kompresije (c_α)
- konstantu stišljivosti (C) u intervalu napona od $\sigma'=100$ do 1000 kPa.



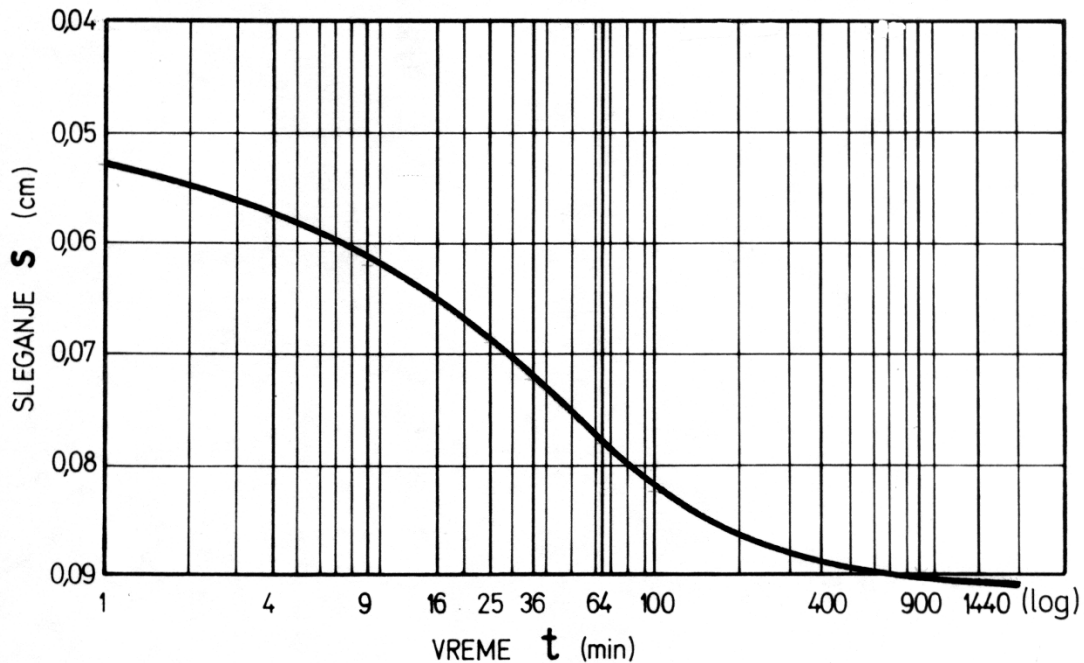
Beleške:

Zadatak 5.3 Za interval napona $\sigma' = 100-200 \text{ kPa}$, koristeći priložene dijagrame odrediti koeficijent konsolidacije (c_v) gline, metodom kvadratnog korena vremena (Taylor) i metodom logaritma vremena (Casagrande).

Taylorov dijagram za određivanje (C_v)



Casagrandeov dijagram za određivanje (C_v) i (C_α)



Beleške:

Zadatak 5.4 Izračunati koeficijent vodopropusnosti (k) gline iz opita stišljivosti, u intervalu napona od $\sigma' = 100-200 \text{ kPa}$. Koristiti podatke iz drugog i četvrtog zadatka.

Beleške: