

**Miroljub
Samardaković**

Primena teorije osmotskog pritiska u tlu u postupcima za smanjenje vlažnosti mulja

Teorija osmotskog pritiska korisno je primenjena u proučavanju stišljivosti i bubrenja zasićenog glinovitog i koloidnog sitnozrnog tla. Edometarskim opitom stišljivosti određuje se sadržina vode u zavisnosti od spoljnog pritiska koji se, uz odgovarajuće real-

ne pretpostavke, izjednačava sa osmotskim pritiskom. Veza između sadržine vode u tlu i osmotskog pritiska određena je teorijski, preko pokazatelja koncentracije i vrste izmenljivih jona u tlu i temperature, i proveravana odgovarajućim praktičnim ispitivanjima koja se ovde prikazuju. Povod za ovo izlaganje je ideja da se sa učesnicima Savetovanja na temu »Obrada i dispozicija mulja« razmotri mogućnost primene teorije osmotskog pritiska u tlu i rezultata dobijenih za koloidnu glinu u postupcima za smanjenje vlažnosti mulja, napr. radi racionalnije i ekonomičnije obrade mulja postupkom presovanja ili sušenja.

Poglavlja izlaganja ukratko obrađuju primenu jednačine stanja idealnih gasova, osmotski pritisak, odnos osmotskog pritiska i sadržine vode u sistemu tlo—voda i zaključak, koji nudi neke mogućnosti primene iznetih rezultata. Primena bi bila moguća ako bi, pre svega, broj i vrsta korišćenih pokazatelja koloidne gline i izneti zakoni mogli da obuhvate svojstva i ponašanje mulja koji je, naročito pre stabilizacije, uglavnom organskog sastava i ima koloidna svojstva.

JEDNAČINA STANJA IDEALNIH GASOVA I NJENA PRIMENA

a. Jednačina stanja idealnih gasova

Na osnovu zakona stišljivosti i širenja gasa (Boyle—Mariotte-ov, Dalton-ov), određena je jednačina stanja idealnog gasa, koja povezuje vrednosti pritiska (p), zapremine (V) i temperature (T) za određenu masu (m) gasa. Ta jednačina glasi:

$$\frac{pV}{nT} = R = \text{const.} \quad (1)$$

gde je n broj mola (gram-molekula) u masi m .

Za jedan mol jednačina glasi:

$$pV = RT \quad \begin{matrix} p [\text{at}] \\ V [1/\text{mol}] \\ R = 0,082 \text{ l at } ^\circ\text{K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \\ \text{na } 293^\circ \text{K} (20^\circ\text{C}) \\ T [^\circ\text{K}] \end{matrix} \quad (2)$$

b) Primena na idealan gas

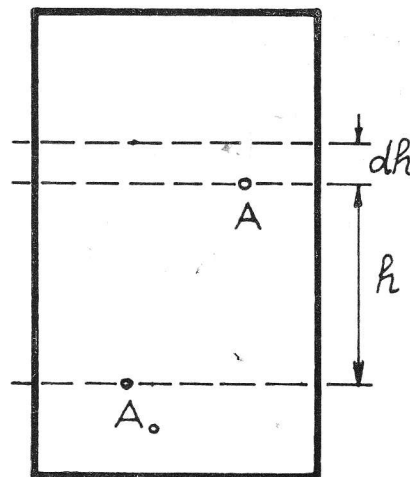
Molekuli gasa, relativno jako udaljeni jedni od drugih (u odnosu na sopstvene dimenzije), iz termalnih uzroka neprestano se nepravilno kreću udarajući u zidove suda u kome su zatvoreni i jedni u druge i stvaraju pritisak normalan na površinu udara.

Ovakvom difuznom pritisku pridružuje se uticaj teže tako da se, polazeći od jednačine stanja idealnih gasova, za jedinične zapremine u nivoima tačaka A_0 i A (sl. 1), za visinsku

razliku h dobijaju sledeće jednačine:

$$\ln\left(\frac{p_0}{p}\right) = \ln\left(\frac{n'_0}{n'}\right) = \frac{Mgh}{RT} \quad (3)$$

gde su: M molarna masa gasa,
 g ubrzanje Zemljine teže,
 n' broj molekula u jedinici zapremine.



SL. 1.

Ovo je LAPLACE-ov zakon, kojim je određen raspored pritiska i molekula u idealnom gasu.

c. Primena na čvrste čestice u tečnosti

U realnom koloidnom rastvoru lebdeće čestice različitih fizičkih i elektro-hemijskih karakteristika kreću se nepravilno, sudaraju se i međusobno daju i primaju energiju a neke od njih pri tom menjaju svoje osobine.

Jedan uzrok ovom nepravilnom kretanju je termalnog karaktera i pod njim, zbog lokalne nejednakosti u koncentraciji čestica, kretanje je takvo da deo rastvora sa većom koncentracijom teži da je smanji i obrnuto, sve dok se, teorijski, ne ostvari jednaka koncentracija u celom rastvoru. Ova vrsta kretanja, pri kome se jedno telo rasprostire u drugo i tu menja, i koje je regulisano gradijentom koncentracije u rastvoru, naziva se difuzijom.

Drugi uzrok, koji najčešće koegzistira sa termalnim, je gravitacionog ili električnog karaktera i dovodi do kretanja pri kome proizvoljno raspoređene čestice jednakih karakteristika teže da se grupišu i izdvoje. Ovakav proces naziva se segregacijom.

Ako je prisutan i neki spoljni uticaj obično jedan od ova dva procesa (difuzija ili segregacija) prevladava, ma da postoji mogućnost da ceo sistem bude u ravnoteži i kad se oba obave istovremeno.

Može se smatrati da čestice u rastvoru izazivaju parcijalan pritisak koji reguliše njihovu difuziju (kretanje čestica kroz vodu kao rastvarač odnosno kretanje vode između čestica). Ovaj pritisak, a time i raspored čestica, može se tačno odrediti za idealne (beskonačno razredene) rastvore a približno za realne rastvore.

Primenivši istu metodologiju kao za idealan gas, za idealnu suspenziju čvrstih čestica gustine p u stišljivoj tečnosti gustine p' lako se dobija jedinačina

$$\ln\left(\frac{p_0}{p}\right) = \ln\left(\frac{n'_0}{n'}\right) = \frac{Mgh}{RT} \left(1 - \frac{p'}{p}\right) \quad (4)$$

u kojoj se poslednji član može smatrati konstantom. Zaključuje se da pritisak i raspored suspendovanih čestica mogu biti dobijeni usvajajući isti postupak i konstante kao za molekule gasa, ma da je razlika, između ostalog, i u tome što čvrste čestice zbog svog dvostrukog vodenog omotača nemaju neposredan kontakt kao molekuli gasa.

d. Primena na određivanje ekvivalenta upijanja vode u tlu

Pritisak upijanja vode u tlu određene sadržine vode i temperature iskazuje se preko ekvivalentne visine (h) vodenog stuba tj. ekvivalentom upijanja (pF) koji je jednak logaritmu te visine.

Ako u zatvoreni sud sa vodom iznad koje je vodena para stavimo i odgovarajuću cev (kao na sl. 2), možemo smatrati da cev predstavlja tlo koje je u kontaktu sa vodom i parom.

Iz uslova ravnoteže i pretpostavke da za paru važi jednačina stanja idealnog gasa dobija se:

$$\ln\left(\frac{p_0}{p}\right) = \frac{Mgh}{RT} \quad (3')$$

gde su p_0 i p pritisci pare a M molar-masa vode.

Kako je relativna vlažnost vazduha (h_{ra}) na visini h jednaka

$$h_{ra} = \frac{p}{p_0} 100 [\%] \quad (5)$$

to će ekvivalentna visina upijanja biti

$$h = \frac{RT}{Mg} \ln \frac{100}{h_{ra}} \quad (6)$$

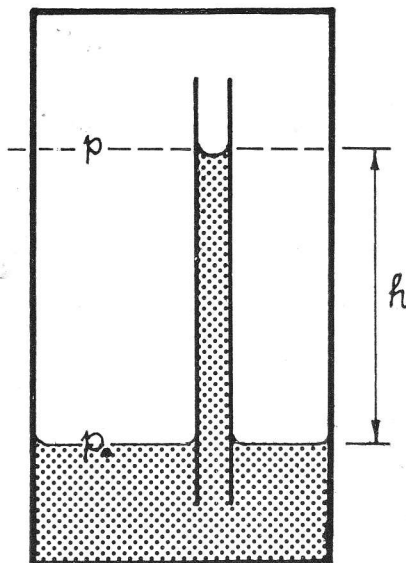
a ekvivalent upijanja

$$pF = \log h = \log \left(2,303 \frac{RT}{Mg} \right) + \log (2 - \log h_{ra}). \quad (7)$$

za $T = 293^\circ K$ ($20^\circ C$)

$$pF = 6,502 + \log(2 - \log h_{ra}) \quad (7')$$

Ova relacija može da važi i kad je



SL. 2.

sud otvoren i predstavlja jedno od klasičnih rešenja.

OSMOZA I OSMOTSKI PRITISAK

a. Osmotski pritisak rastvora

Ako neka membrana razdvaja dva rastvora različite koncentracije (ili vodu i vodeni rastvor), molekuli rastvarača (ili vode) spontano će prodirati iz sredine niže koncentracije u sredinu više koncentracije, sa težnjom da se koncentracije izjednače po cenu izmene hidrostatičkih pritisaka u rastvorima. Ovakav proces difuznog kretanja rastvarača nazvan je osmozom a pritisak koji »gura« rastvarač ka tačkama više koncentracije osmotskim pritiskom. On se može iskazati kao hidrostatički pritisak kojim treba delovati na rastvor više koncentracije da bi difuzija bila sprečena. Ako membrana (ili zid suda) propušta samo rastvarač ona je onda polupropustljiva, kao napr. PFEFFER-ova membrana, i sa njom se može napraviti osmometar kojim se može meriti osmotski pritisak homogenog rastvora, kao na sl. 3.

Voda prolazi u sud A, čiji zidovi su polupropusni, nivo rastvora u cevi C se izdiže i pri ravnoteži dobija se osmotski pritisak P_0 :

$$P_0 = hpg \quad (8)$$

gde je p gustina rastvora u manometarskoj cevi C.

Van't Hoff je primenio zakone ponašanja gasa na rastvore i ustanovio svoj zakon, tačan za idealne (beskonačno razredene) a približan za realne rastvore koji glasi:

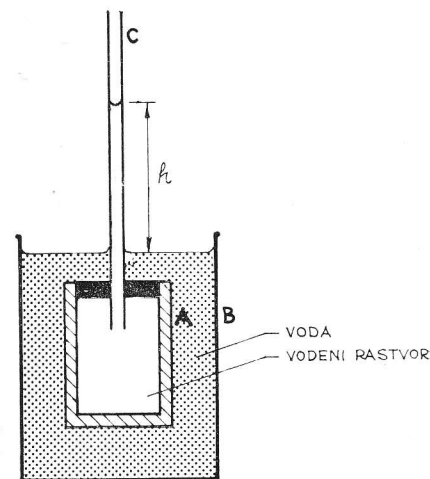
$$P_0 V = RT \quad (9)$$

gde je V zapremina rastvora koji sadrži jedan mol (gram molekula) rastvorene materije.

Osmotski pritisak je, dakle, jednak pritisku koji bi imala rastvorena materija ako bi bila pretvorena u paru i izjednačena sa idealnim gasom u konačnim uslovima temperature i zapremine rastvora. Ovo je analogno DALTON-ovom zakonu za parcijalni pritisak razređenog gasa u nekom inertnom gasu, koji se objašnjava kinetičkom teorijom i zavisi od kretanja molekula.

b. Osmotski pritisak i pritisak upijanja u neopterećenom sitnoznom tlu

Kao funkcija razlike u koncentracijama (molekula ili jona) u rastvoru, osmotski pritisak vodenog rastvora u tlu u najneposrednijoj je zavisnosti od koncentracije jona u rastvoru. Zbog svih pojava koje se javljaju oko zrna gline, uslovljenih njihovim svojstvima i svojstvima sredine u kojoj se zrna nalaze, osnovni uticaj na osmotski pritisak u tlu imaju izmenljivi katjoni. U koliko je, sem izmenljivih jona, parna voda relativno slobodna od rastvorenih materija, koncentracija jona normalno znatno opada sa odstojanjem od negativno naelektrisane površine zrna. Tada postoji jaka tendencija da voda iz razređenog rastvora u velikim parama pređe bliže zrnima tj. za osmotskim kretanjem vode u tlu. Ovakvo kretanje u praksi je od inženjerskog značaja pri rasterećivanju tla (kad voda ide ka zrnima čiji je vodeni omotač bio deformisan opterećenjem-bubrenje tla), pri delovanju jednosmerne struje (kad pokret izmenljivih katjona ka katodi izaziva i kretanje vode



SL. 3.

u istom pravcu — elektroosmoza) ili pri delovanju temperaturnih razlika (kad se vodena para kreće ka hladnijoj sredini, kondenzuje i mrzne a vodeni filmovi stanjuju i povećavaju koncentraciju jona — termoosmoza).

Potencijal vode u tlu odnosno ukupan pritisak upijanja funkcija je sadržine vode, pre svega. Na odnos pritiska upijanja i sadržine vode utiču: vrsta promene sadržine vode (vlaženje ili sušenje) granulometrijski sastav, struktura tla, zbijenost, hemijski sastav vode — vodenog rastvora i spoljni uticaji (temperatura, pritisak, vreme). Za dato tlo ukupan pritisak upijanja zavisi od sadržine vode i njenog sastava, spoljnog pritiska i temperature.

Ukupno (totalno) upijanje sastoji se od osnovnog (adsorpcionog i kapilarnog) i upijanja rastvaranjem, koje je funkcija elektrolitične koncentracije porne vode.

Ako vlažan uzorak tla čije upijanje želimo da odredimo stavimo preko polupropusne membrane u kontakt sa rastvorom poznate koncentracije tj. osmotskog pritiska, tako da hidrostatički pritisci budu jednaki sa obe strane, voda će kroz membranu odlaziti u zonu višeg potencijala tako da je pri ravnotežnom stanju osmotski pritisak rastvora (koji se lako može odrediti) jednak osnovnom upijanju tla (čiju sadržinu vode lako nalazimo). Osmotski pritisak izjednačen je sa osnovnim a ne totalnim upijanjem zato što i joni prolaze kroz membranu pa se upijanje rastvaranjem poništava tako da se ovde može meriti samo osnovno upijanje.

ODNOS OSMOTSKOG PRITISKA I SADRŽINE VODE U ZASEĆENOM SISTEMU TLO—VODA

Sa termodinamičkog gledišta prisustvo polupropustljive membrane nije apsolutno potrebno za postojanje difuzije i razvoj osmotskog pritiska. Tako je u tlu dovoljno da jedan od uticaja bude slobodan da stvori difuziju. Sile onog uticaja čije dejstvo je relativno zaustavljeno igraće ulogu polupropustljive membrane. Ove sile moraju umanjivati osmotsku aktivnost čestica jer ograničavaju njihovo polje kretanja i time njihovu kinetičku energiju a osmoza je, kako je rečeno, posledica takve energije. Zato se primena Van't Hoff-ovog zakona na realni sistem osmoze bez membrane mora zasnivati češće na korišćenju veličine aktivnosti (a), nego na veličini koncentracije (c) sa kojom stoji u odnosu

$$a = (c) \cdot f \quad (10)$$

gde je $f \leq 1$ LEWIS-ov koeficijent aktivnosti.

Drugim rečima, zbog težnje nekih jona da sebe opkole drugim jonima,

stvarna osmotska aktivnost manja je od one sračunate za idealan rastvor. Korekcijom koncentracije (c) na aktivnost (a), preko koeficijenta aktivnosti omogućena je formalna primena zakona idealnih, razređenih rastvora i teorije razređenih rastvora slabih elektrolita (kakav je i Van't Hoff-ov) i na neidealne, koncentrisane rastvore i teoriju rastvora jakih elektrolita.

a. Teorijsko rešenje

Za objašnjenje koncepta osmoze bez membrane u sistemu tlo-voda biće uzeta glina u prahu, bez soli, sa sadržinom vode između granice tečenja i granice plastičnosti.

Katjoni u vodi izloženi su elektrostatičkom privlačenju ka površinama čvrstih čestica a imaju i tendenciju disperzije i ravnomerne raspodele u tečnoj fazi zbog kinetičke energije čestica.

Na bazi istraživanja više autora usvaja se proračun WINTERKORN-a za slučaj ravne površine čestice (što u glavnom odgovara stvarnom obliku zrna gline), prema kome pri gornjim sadržinama vode praktično nema promene u koncentraciji izmenljivih jona na rastojanju reda sto molekula od zrna. Za veće sadržine vode katjoni teže da se koncentrišu oko površine čestica, u saglasnosti sa klasičnom teorijom HELMHOLTZ-ovih dvostrukih slojeva u razblaženom glinovitom sistemu.

Osmotski pritisak (P_{oid}) vodenog rastvora dispergovanih katjona u idealnom sistemu sa membranom (koji može biti preveden u hidrostatički pritisak) može se odrediti prema Van't Hoff-u:

$$P_{oid} V = RT \quad (9)$$

Prema njemu osmotski pritisak zavisi samo od broja dispergovanih čestica, nezavisno od njihove prirode (atomi, joni, molekuli, koloidalne ili veće čestice).

Ako je V zapremina rastvora koji sadrži 1 mol rastvorene materije, onda je recipročna vrednost te zapremine molarna koncentracija (c) rastvora. Tako je

$$P_{oid} = RT(c) \quad P_{oid} [at] \quad (11)$$

$$R = 0,082 \text{ l at } ^\circ K^{-1} \text{ mol}^{-1} \text{ na } 293^\circ K$$

$$T [^\circ K]$$

$$(c) [\text{mol l}^{-1}]$$

Sposobnost zrna gline da adsorbujone na svoju površinu naziva se kapacitet izmene katjona ili kapacitet izmene baze i iskazuje se Hissik-ovom »T«-vrednosti, u vidu težine katjona ili u vidu miliekvivalekata (me) koji mogu biti vezani za površinu 100 p suvog tla. (1 me odgovara 1 mp — miliponduvodonika ili broju od 6.10^{20} elementarnih električnih tovara). Ispitivanjima je određena približna »T« vrednost za tri glavne vrste gline.

Jednostavno se dobija da je katjonska koncentracija vodenog rastvora u tlu

$$(c) = \frac{''T''}{wV_a} \quad (12)$$

gde je $w[\%]$ sadržina vode u glini (procenat vode u odnosu na težinu čvrste faze),

V_a valentnost katjona u glini sa joni-ma jedne vrste ili srednja valentnost heterojonske gline, sa više jona.

Ako bi glina uz napred date pretpostavke bila idealan sistem sa membranom, iz prethodnih jednačina za nju bi važilo

$$P_{oid} = \frac{RT''T''}{wV_a} \quad (13)$$

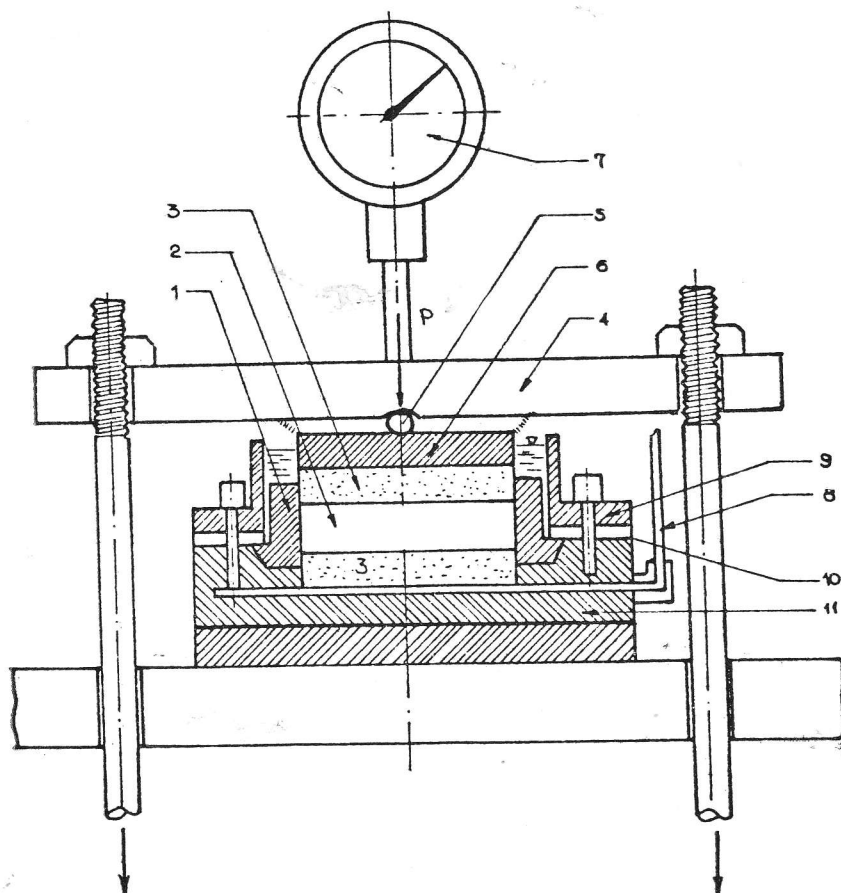
Zbog pojave elektrostatičkog privlačenja između katjona i čestica tla, koje u realnom sistemu tlo—voda vrši ulogu polupropustljive membrane i smanjuje kinetičku energiju katjona, analogno LEWIS-ovom koeficijentu aktivnosti uvodi se koeficijent $f(w)$ kojim se za realnu glinu koriguje vrednost koncentracije odnosno osmotskog pritiska u idealnom sistemu. Vrednost ovog koeficijenta nije veća od 1 i za dato tlo i vodenii rastvor zavisi od sadržine vode (nog rastvora) (w) i može se odrediti empirijski.

Tako se za realnu glinu dobija vrednost osmotskog pritiska:

$$P_{o \text{ real}} = \frac{RT''T''}{wV_a} f(w) \quad (14)$$

Iz jednačine se vidi da pored konstanti R, T, ''T'' i V_a na veličinu osmotskog pritiska u tlu obrnuto proporcionalno utiče sadržina vode, što je logično iz dva razloga: sa povećanjem sadržine vode smanjuje se koncentracija rastvora a takođe i elektrostatički uticaj pa je difuzija slobodnija i osmotski pritisak se smanjuje.

U Mehanici tla svakodnevno se primenjuje opit stišljivosti tla u edometru (bukvalno prevedeno: merač vlažnosti) kao na sl. 4, kojim se za zasićenu glinu može odrediti osmotski pritisak i odgovarajuća sadržina vode a onda i koeficijent $f(w)$.



SL. 4. — 1. CILINDAR, 2. UZORAK, 3. POROZNA PLOČA, 4. RAM ZA OPTEREĆIVANJE, 5. KUGLIČA, 6. KLIP, 7. KOMPARATER, 8. CEV ZA VODU, 9. ZAVRTANJ, 10. GUMA, 11. LEŽIŠTE

Zasićeni uzorak gline opterećuje se sa više stupnjeva dovoljno velikog vertikalnog pritiska (P) i pod svakim stupnjem sačeka se da se izvrši konsolidacija i praktično završi kompresija gline koja se obavlja na račun istisnute vode iz uzorka. Spoljno opterećenje primila je na sebe voda u glini i pri stanju ravnoteže primenjeni vertikalni pritisak jednak je u stvari ukupnom pritisku upijanja gline odnosno osmotskom pritisku u glini pa je

$$P_{o, \text{real}} = P.$$

Za svaki stupanj edometarskog (osmotskog) pritiska (P) može se odrediti odgovarajuća sadržina vode (w) a time i za svaki par ovih podataka može da se sračuna vrednost koeficijenta $f(w)$:

$$f(w) = \frac{R w V_a}{RT "T"} \quad (16)$$

Hweem i Carman su dali odnos

$$\log f(w) = K(w - w_0) \quad (17)$$

prema kome koeficijent $f(w)$ za određenu glinu i rastvor zavisi samo od sadržine vode — rastvora (w) u glini.

Ovde je w_0 početna sadržina vode za koju se dobija najveća vrednost osmotskog pritiska ($f(w) = 1$) i reda je veličine kao granica skupljanja (w_R) tla. Kako je $\log f(w)$ linearno zavisno od w to je K ugaoni koeficijent tj. koeficijent pravca prave koja grafički iskazuje ovu zavisnost (sl. 5):

$$K = \frac{\log f(w)}{w - w_0} (f(w) \leq 1) \quad (17')$$

Vrednost K određuje osmotsko ponašanje tla i za isto tlo zavisi od prirode izmenljivih jona.

Vrednost w_0 određuje se sa dijagrama ($\log f(w)$, w) koji se može nacrtati posle edometarskog opita.

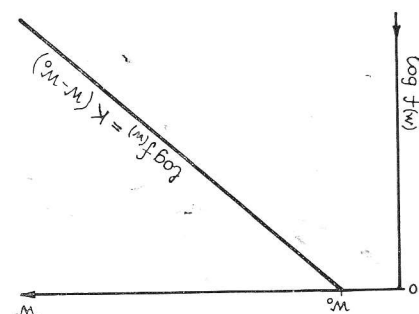
Iznetim postupkom može se, dakle, edometarskim opitom i određivanjem jonskih karakteristika za ispitanu glinu dobiti ugaoni koeficijent (K) kojim

se iskazuje osmotsko ponašanje tla i početna sadržina vode (w_0), kao najmanja teoretska sadržina vode na kojoj osmotski pritisak počinje da se formira i na kojoj je on najveći jer je tada $f(w) = 1$

Obrnuto, ako se znaju ugaoni koeficijent (K) i sadržina vode w_0 (tj. ako ranije ispitana glina po svom sastavu odgovara sada tretiranoj), može se teorijski odrediti potreban pritisak konsolidacije ($P = P_{o, \text{real}}$) za željenu sadržinu vode ili sadržina vode koja će biti ostvarena primenom postojećih uređaja za konsolidaciju (kompresiju) gline.

b. Praktična ispitivanja

WINTERKORN i MOORMAN izvršili su seriju ispitivanja na PUTMAN-glini



SL. 5.

i njenim homojonskim modifikacijama i dokazali vrednost navedenih teorijskih postavki.

Ranijim ispitivanjima za normalne prirodne gline (čije je $pH = 7$) određene su "T" — vrednosti kapaciteta izmene katjona, date u tabeli 1.

Vrsta gline	"T" [me/100 gr]
monmorionit	60 - 100
ilit	20 - 40
kaolin	3 - 15

TABELA 1.

ZA PUTMAN-glinu dobijeno je "T" = 30 me/100 p od čega je, u me/100 p, bilo jona: $H^+ = 12,0$, $Ca^{++} = 11,6$, $Mg^{++} = 4,5$, $Na^+ = 1,4$ i $K^+ = 0,6$.

Srednja valentnost bila je

$$V_a = \frac{30}{\frac{12}{1} + \frac{11,6}{2} + \frac{4,5}{2} + \frac{1,4}{1} + \frac{0,6}{1}} = 1,4$$

Geomehaničke karakteristike gline date su u tabeli 2.

Karakteristike	Prirod. glina	H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺
Granica tečenja	64.5	56.4	88	52.8	56.3	61.9
Granica plastičnosti	23.5	24.8	25.4	27.7	25.4	27.0
Indeks plastičnosti	41.0	31.6	62.6	25.1	30.9	34.9
Granica skupljanja	17.9	16.3	11.8	19.4	12.4	12.4
Higroskopnost	5.8	5.3	4.2	4.6	4.4	5.7
Ekvivalent vlažnosti	57.1	54.3		53.7	58.7	58.9
Optimalna sadrž. vode (Proct.)	28.6	30.9	31.3	28.4	31.2	32.2
% zrna koji prolazi kroz sito br.200 (0.06 mm)	98.1	98.7	97.5	98.5	98.6	98.5
% gline D<0.005 mm	54.0	48.0	61.0	44.0	49.0	45.0
% koloida <0.001 mm	33.0	26.0	48.0	21.0	25.0	22.0

Tabela 2.

Za prirodnu glinu i njene homojonske modifikacije urađeni su edometarski opiti i za dobijene vrednosti w , P , T V_a R i T sračunate su vrednosti $f(w)$ prema jednačini (16) a zatim prema jednačini (17) nacrtan dijagram ($\log f(w)$ w), na sl. 6.

Sa ovog dijagrama za glinu i sve modifikacije određen je ugaoni koeficijent (K) i početna sadržina vode (w_0).

Kako se na ovom dijagramu vidi, na sadržini vode oko 36—40% homojonske gline sa flokulirajućim katjonima, kao Ca^{++} i H^+ , pri konsolidaciji razvijaju izvesnu naknadnu strukturu na čiju se deformaciju troši deo konsolidacionog pritiska.

Ovo se odražava na smanjene apsolutne vrednosti ugaonog koeficijenta (K) pa prava u toj tački ima prelom. Naknadna struktura javlja se pri sadržini vode na kojoj je zapremina šupljina istog reda kao zapremina zrna tla, pri čemu se kontakt zrna ostvaruje najčvršćom vezom polučvrste vode koja obavlja zrna.

Svi rezultati, dobijeni na bazi edometarskih opita sa relativno malim pritiscima konsolidacije prikazani su u tabeli 3.

Usvajajući podatak da ugaoni koeficijent ima približno konstantnu vrednost, mogu se sračunati osmotski (edometarski) pritisci za one sadržine vode za koje edometarski opit nije ili

nije mogao biti izveden. Tako na primer za prirodnu glinu sa sadržinom vode na granici tečenja (w_L) dobijamo: $w_L = 64,5\%$ iz tabele 2

$T = 298^\circ K$ ($25^\circ C$)

$R \approx 0,082$ l at $^\circ K^{-1}$ mol $^{-1}$

$T' = 30$ me/100 p

$V_a = 1,4$

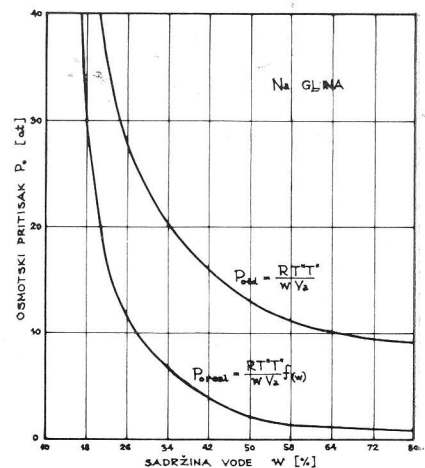
$K = -0,064$ } iz tabele 3

$w_0 = 24\%$

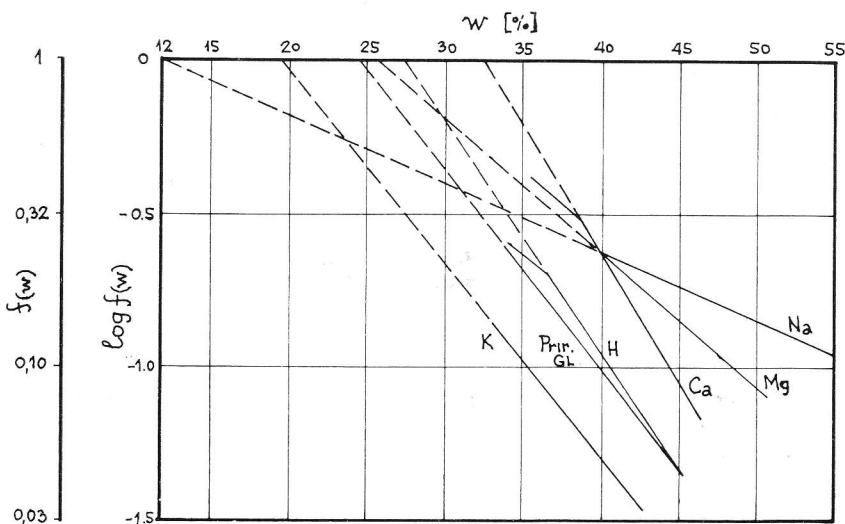
$\log f(w) = K(w - w_0) \approx -0,064(64,5 - 24,0) = -2,592 = 3,408$ $f(w) = 0,00256$

$$P_{\text{osmot}} = \frac{RT T'}{w V_a} f(w) =$$

$$= \frac{0,082 \cdot 298 \cdot 30}{64,5 \cdot 1,4} \cdot 0,00256 = 0,0208 \text{ at}$$



SL. 7.



SL. 6.

Rezultat ispitivanja i ovakvog proračuna može biti prikazan grafički, u vidu dijagrama u zavisnosti osmotskog pritiska od sadržine vode.

Ovakav dijagram za Na^+ — glinu dat je na sl. 7.

Vrsta tla	w (%)	P (atm)	f(w)	K	w ₀ (%)	w ₀ /w _R
Prirodna glina	33.3	4	0.255	-0.064	24	1.34
	34.0	3.5	0.228	-0.064		
	34.6	3	0.198	-0.066		
	37.7	2	0.145	-0.061		
	41.2	1	0.079	-0.064		
	45.2	0.5	0.434	-0.064		
Natrijum gline	40.6	4	0.222	-0.0228	12	1.02
	41.7	3.5	0.200	-0.0236		
	44.0	3	0.180	-0.0233		
	49.3	2	0.135	-0.0233		
	59.1	1	0.081	-0.0232		
	68.0	0.5	0.0465	-0.0238		
Kalijum gline	31.8	4	0.174	-0.063	19.8	1.02
	32.5	3.5	0.156	-0.0635		
	33.3	3	0.137	-0.064		
	35.5	2	0.097	-0.0645		
	39.8	1	0.0545	-0.063		
	43.0	0.5	0.0295	-0.066		
Kalcijum gline	36	4	0.398	-0.105	32.2	2.6
	37	3.5	0.354	-0.094		
	38.2	3	0.315	-0.0835		
	39.8	2	0.219	-0.0795		
	43.6	1	0.1195	-0.081		
	47.2	0.5	0.0645	-0.0795		
Magnezijum gline	34.6	4	0.378	-0.046	25.4	2.05
	35.5	3.5	0.344	-0.046		
	37.0	3	0.304	-0.0445		
	39.8	2	0.218	-0.046		
	45.7	1	0.125	-0.0445		
	50.0	0.5	0.0685	-0.0435		
Vodonik gline	35.5	4	0.194	-0.080	26.6	1.63
	37.0	3.5	0.177	-0.072		
	38.0	3	0.156	-0.071		
	39.8	2	0.109	-0.073		
	43.6	1	0.060	-0.071		
	46.8	0.5	0.032	-0.073		

Tabela 3

ZAKLJUČAK

Primena zakona i jednačine stanja idealnih gasova u određivanju ekvivalenta upijanja vode u tlu i u teoriji osmotskog pritiska u tlu našla je svoje puno opravdanje. Posebno korisno primenjena je teorija osmotskog pritiska u proučavanju stišljivosti i bušenja sitnozrnog, koloidno-glinovitog tla.

Ako bi se pokušalo da se rezultati primene ovih teorija na glinu, delimično izneti u ovom radu, analogno iskoriste za obradu (smanjenje vlažnosti) mulja, moglo bi se razmišljati u sledeća dva pravca:

a. Za glinu koja se suši na vazduhu

$$(14) \rightarrow w = \frac{RT}{P_{\text{oreal}}} \frac{T''}{V_a} f(w)$$

$$(15) \rightarrow P_{\text{oreal}} = f_1(h, \dots)$$

$h \rightarrow$ = visina upijanja

$$(6) \rightarrow h = f_2(hra, \dots)$$

hra = relativna vlažnost vazduha

$$(15), (6) \rightarrow P_{\text{oreal}} = f(hra, \dots)$$

pa može da se potraži veza

$$w = \frac{RT}{f(hra, \dots) V_a} \frac{T''}{V_a} f(w) \quad (18)$$

iz koje bi se posle određivanja vrste jona i vrednosti T'' i $f(w)$, mogla znati sadržina vode (w) u glini zavisno od relativne vlažnosti (hra) vazduha.

Analogno bi se mogla potražiti ovakva veza za mulj koji se suši i predvideti njegova konačna vlažnost u određenim uslovima sušenja na vazduhu.

b. Za mulj čija se sadržina vode smanjuje postupkom presovanja, u koliko bi veza

$$w = \frac{RT}{P_{\text{oreal}}} \frac{T''}{V_a} f(w)$$

mogla biti primljena, preko krivih (P_{oreal}, w) bili bi nađeni racionalniji i ekonomičniji uslovi i metode presovanja tj. optimalan pritisak presovanja.

Za ponuđene pravce primene gasnih i osmotskih zakona na mulj, osnovna pretpostavka je da se u ovom smislu bliže provere svojstva i ponašanje mulja kao koloidnog rastvora čestica čiji je znatan procenat organskog porekla. Prvi rezultati dobijeni od strane istraživača Građevinskog fakulteta u Nišu ukazuju na mogućnost ovakve primene, posebno na mulj čije bi se zgušnjavanje vršilo posle stabilizacije.

LITERATURA:

1. Sirs, S.V. — Uvod u termodinamiku, kinetičku teoriju gasova i statističku mehaniku. Prevod sa engleskog, Vuk Karadžić, Beograd, 1969.
2. Stojadinović, R. — Mehanika tla, I, II deo. Građevinski fakultet, Beograd, 1973.
3. ... — Mehanika tla pri projektovanju i građenju puteva. Prevod sa engleskog, Građevinska knjiga, Beograd, 1964.